

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí

Numerická analýza dreveného rámového spoja s kovovými spojovacími prostriedkami

Numerical analysis of the timber frame connection with metal fasteners

Študent:

Bc. Marek Johanides

Vedúci diplomovej práce:

Ing. David Mikolášek, Ph.D.

Ostrava 2018

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Marek Johanides**

Studijní program: N3607 Stavební inženýrství

Studijní obor: 3607T037 Konstrukce staveb

Téma: Numerická analýza dřevěného rámového spoje s kovovými spojovacími prostředky
Numerical analysis of the timber frame connection with metal fasteners

Jazyk vypracování: slovenština

Zásady pro vypracování:

1. Rámové rohy dřevostaveb, způsoby provedení, určení únosnosti a použitelnosti spoje, deformační kapacita přípoje.
2. Analytické řešení vybraného spoje. Diskuse výsledků.
3. Numerické MKP řešení vybraného spoje. Diskuse výsledků. Porovnání výsledků různých numerických modelů (lineární, geometricky a materiálně nelineární, apod.).
4. Výsledné porovnání výsledků, doporučení pro návrh vybraného spoje v praxi. Diskuse vhodnosti použití vybraného spoje, omezení spoje, vytipování možných problémů.
5. Výkresová dokumentace – vstupní geometrie, 3D pohled na spoj, grafická podpora pro výsledný numerický model.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí.
- [2] ČSN EN 1991: Zatížení konstrukcí. (potřebné části)
- [3] ČSN EN 1995-1-1: Navrhování dřevěných konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla –Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.
- [4] ČSN 731702: Navrhování, výpočet a posuzování dřevěných stavebních konstrukcí – Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [5] Kuklík, P.: Dřevěné konstrukce, Praha, 2008
- [6] Koželouh, B.: Step 1 a Step 2 – Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5, Zlín, 1998
- [7] Jelínek, L.: Tesařské konstrukce, Brno 2008
- [8] Odborné časopisy – Konstrukce, Stavitel, Structural Engineering, Stahlbau
- [9] Internet

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. David Mikolášek, Ph.D.**

Datum zadání: 28.02.2018

Datum odevzdání: 30.11.2018



doc. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prehlásenie študenta

Prehlasujem, že som celú diplomovú prácu vrátane príloh vypracoval samostatne pod vedením vedúceho diplomovej práce a uviedol som všetky použité podklady a literatúru.

V Ostrave.....

.....

podpis študenta

Pod'akovanie

Touto cestou by som sa chcel pod'akovať vedúcemu mojej diplomovej práce Ing. Davidovi Mikoláškovi, Ph.D. za prejavenu ochotu, profesionálny prístup, množstvo hodín konzultácií a odborných rád. Konzultantovi teoretickej časti diplomovej práce Ing. Miroslavovi Rosmanitovi, Ph.D. za pomoc a odborné rady pri textovej časti práce. Experimentálne meranie bolo realizované vďaka finančnej podpore firiem EXTEN CZ spol. s r.o., ROTHOBLAAS , INGENIA. Pod'akovanie patrí aj laboratóriu stavebných hmôt, katedre stavebných hmôt a diagnostiky stavieb 223, katedre stavebnej mechaniky 228, katedre konštrukcií 221 a katedre aplikovanej mechaniky 330 menovite doc. Halamovi za realizáciu merania pomocou *IDC image data correlations*.

Prehlasujem, že

- som bol oboznámený s tým, že na moju diplomovú prácu sa vzťahuje zákon 121/2000 Zb. – autorský zákon, najmä § 35 – použitie diela v rámci občianskych a náboženských obradov, v rámci školských predstavení a použitie diela školského § 60 – školské dielo.
- beriem na vedomie, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (ďalej len VŠB – TUO) má právo neziskovo pre svoje vnútorné potreby diplomovú prácu použiť (§ 35 odst.3).
- súhlasím s tým, že údaje o diplomovej práci budú zverejnené v informačnom systéme VŠB-TUO
- bolo dojednané, že s VŠB-TUO, v prípade záujmu z jej strany, uzatvorím licenčnú zmluvu s oprávnením použiť dielo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bolo dojednané, že použiť svoje dielo – diplomovú prácu alebo poskytnúť licenciu na jej použitie môžem len so súhlasom VŠB-TUO, ktorá je oprávnená v takom prípade od mňa požadovať primeraný príspevok na uhradenie nákladov, ktoré boli VŠB – TUO vynaložené (až do ich skutočnej výšky).
- beriem na vedomie, že odovzdaním svojej práce súhlasím so zverejnením svojej práce podľa zákona č.111/198 Zb., o vysokých školách a o zmene a doplnení ďalších zákonov (zákon o vysokých školách), v znení neskorších predpisov, bez ohľadu na výsledok jej obhajoby.

V ostrave.....

.....

podpis študenta

Anotácia

JOHANIDES, Marek. *Numerická analýza dreveného rámového spoja s kovovými spojovacími prostriedkami*. Ostrava, 2018. Diplomová práca. VŠB - Technická univerzita Ostrava. Vedúci práce Ing. David Mikolášek, Ph.D.

Diplomová práca sa zaoberá návrhom a statickým riešením jednolodovej haly na báze dreva. Pre statickú analýzu bolo vytvorených viacero výpočtových modelov v programe Scia Engineer 17.1. Práca obsahuje teoretickú časť, ktorá sa zaoberá rámovými sústavami a rámovými rohmi drevostavieb. Po teoretickej časti nasleduje výpočet zaťaženia na konštrukciu, posudky nosných prvkov, posudky vybraných spojov a numerickú analýzu rámového spoja s mechanickými spojovacími prostriedkami. Pre rámový spoj bol vytvorený fyzikálny test, ktorý odpovedal skutočnej mierke riešeného spoja.

Kľúčové slová

Scia Engineer, Eurokód, drevená hala, lepené lamelové drevo, zaťaženie konštrukcie, posúdenie konštrukcie, prvky, spoje, numerická analýza, fyzikálny test

Annotation

The diploma thesis deals with the design and static solution of a wood-based single-room hall. Several computational models were created in Scia Engineer 17.1 for static analysis. The thesis contains the theoretical part, which deals with frame systems and frame corners of timber structures. The theoretical part is followed by the calculation of the load on the structure, the assessment of the supporting elements, the assessment of the selected joints and the numerical analysis of the frame connection with the mechanical connecting means. A physical test was created for the frame joint, which responded to the real scale of the selected joint.

Key words

Scia Engineer, Eurocode, timber hall, glued laminated wood, structural load, assessment of construction, elements, joints, numerical analysis, physical test

Obsah

Zoznam použitých značiek a symbolov	16
Úvod	21
1 Drevo a materiály na báze dreva	22
2 Rámové sústavy drevostavieb	23
2.1 Plnostenné rámy	24
2.2 Plnostenné oblúky.....	26
3 Rámové rohy	27
3.1 Použitie mechanických spojovacích prostriedkov	27
3.2 Stojka tvaru V	28
3.3 Použitie lepených spojov	29
4 Určenie únosnosti a použiteľnosti spoja.....	30
4.1 Nosné chovanie spojov	31
4.2 Mechanizmy zlyhania spoja	34
4.2.1 Mechanizmus zlyhania I.....	35
4.2.2 Mechanizmus zlyhania II	37
4.2.3 Mechanizmus zlyhania III	38
4.3 Zvýšenie únosnosti	39
4.3.1 Diagramy podľa Möllera	39
4.4 Zvláštne pravidla pre spoj.....	40
5 Popis objektu	41
5.1 Architektonické a dispozičné riešenie stavby.....	42
5.1.1 Situovanie stavby	42
5.2 Konštrukčný systém	43
5.3 Založenie	43
5.4 Opláštenie haly	44
5.4.1 Strecha	44

5.4.2	Stenový panel	44
5.5	Povrchová úprava	45
5.6	Výpočtový model v Scia Engineer 17.1	45
6	Zaťaženie objektu.....	46
6.1	Zaťaženie stále.....	46
6.1.1	Vlastná tiaž.....	46
6.1.2	Ostatné stále zaťaženie	46
6.2	Náhodilé zaťaženie	46
6.2.1	Úžitné zaťaženie.....	46
6.2.2	Zaťaženie snehom	47
7	Zaťaženie vetrom	48
7.1	Maximálny dynamický tlak	49
7.1.1	Základná rýchlosť vetra.....	49
7.1.2	Stredná rýchlosť vetra	50
7.1.3	Drsnosť terénu	50
7.1.4	Orografia	50
7.1.5	Turbolencia vetra.....	51
7.2	Výsledný maximálny dynamický tlak	51
7.3	Súčiniteľ konštrukcie.....	51
7.4	Tlaky vetra na povrchy	52
7.4.1	Zvislé steny pozemných stavieb s pravouhlým pôdorysom.....	53
7.4.2	Výsledné hodnoty súčiniteľov tlakov pre pozemné stavby.....	53
7.5	Rozdelenie na oblasti.....	54
7.5.1	Rozdelenie na oblasti, priečny vietor	54
7.5.2	Rozdelenie na oblasti, pozdĺžny vietor	55
7.6	Výsledné hodnoty zaťaženia vetrom na steny a strechu.....	57
7.7	Zaťažovacie stavy od vetra.....	58

8	Zaťažovacie stavy.....	61
8.1	Kombinácie zaťažovacích stavov	62
8.1.1	Lineárna kombinácia	62
8.1.2	Nelineárna kombinácia.....	62
9	Analýza výsledkov	63
10	Výpočet translačnej a rotačnej tuhosti.....	65
10.1	Výpočet translačnej tuhosti.....	65
10.2	Výpočet rotačnej tuhosti	66
10.3	Vypočítané hodnoty tuhostí spojov	68
11	Stabilita konštrukcie.....	69
11.1	Prútový model	69
11.2	Modifikácia prútového a škrupinového modelu	72
11.3	Záver stabilitného výpočtu.....	73
12	Všeobecné vzorce ku MSÚ	74
12.1	Prierezové charakteristiky.....	74
12.2	Drevené prvky konštrukcie	76
12.2.1	Materiálové charakteristiky dreva	76
12.2.2	Návrhové napätie dreva.....	77
12.2.3	Súčiniteľ vzperu pre drevené prvky $k_{c,y}$ a $k_{c,z}$	78
12.2.4	Klopenie	80
12.2.5	Určenie vzpernej dĺžky priečle a stojky	80
12.3	Oceľové prvky konštrukcie.....	81
12.3.1	Materiálové charakteristiky ocele	81
12.3.2	Stanovenie súčiniteľa vzpernosti χ	82
12.3.3	Návrhová únosnosť ocele	82
12.4	Podmienky posúdenia drevených prvkov MSÚ.....	84
12.5	Podmienky posúdenia oceľových prvkov MSÚ	85

13	Medzný stav únosnosti	87
13.1	Priečla	87
13.1.1	Posúdenie kombinácie klopenia a vzperného tlaku.....	88
13.1.2	Posúdenie únosnosti vo šmyku	89
13.2	Stojka	90
13.2.1	Posúdenie na kombináciu klopenia so vzperným tlakom	91
13.2.2	Posúdenie únosnosti vo šmyku	92
13.3	Rozpera strecha	93
13.3.1	Posúdenie ťahu rovnobežne s vláknami	94
13.3.2	Posúdenie vzperného tlaku.....	95
13.4	Rozpera stena	95
13.4.1	Posúdenie ťahu rovnobežne s vláknami	96
13.4.2	Posúdenie vzperného tlaku.....	97
13.5	Stužidlo – strecha	97
13.5.1	Posúdenie na ťah	97
13.6	Stužidlo – stena	98
13.6.1	Posúdenie na ťah	98
13.7	Stužidlo – stena čelná.....	99
13.7.1	Posúdenie na ťah	99
13.8	Stĺp – čelná stena (oceľová konštrukcia)	99
13.8.1	Posúdenie šmyku.....	100
13.8.2	Posúdenie dvojsoého ohybu so vzperným tlakom	101
13.9	Nosník – čelná stena nad otvorom (oceľová konštrukcia).....	101
13.9.1	Posúdenie šmyku.....	102
13.9.2	Posúdenie ohybu so vzperným tlakom.....	103
13.10	Nosník – čelná stena zvyšné (oceľová konštrukcia)	103
13.10.1	Posúdenie šmyku	104

13.10.2	Posúdenie ohybu so vzperným tlakom	105
14	Medzný stav použiteľnosti	106
14.1	Okamžitý a konečný prieťah drevených prvkov	106
14.2	Prieťah oceľových prvkov	107
14.3	Konštrukcia haly	107
14.4	Priečla	107
14.5	Stojka	108
14.6	Stĺp čelná stena	109
14.7	Nosník čelná stena – nad otvorom	110
15	Všeobecné vzťahy pre stanovenie únosnosti drevených spojov	111
15.1	Svorníkový spoj – priečne namáhaný	111
15.1.1	Charakteristická únosnosť pre jeden strih jedného spojovacieho prostriedku .	111
15.1.2	Návrhová únosnosť pre jeden strih jedného spojovacieho prostriedku	114
15.1.3	Účinný počet svorníkov	114
15.1.4	Stanovenie minimálnych roztečí a vzdialeností	115
15.1.5	Celková únosnosť spoja pri namáhaní rovnobežne s vláknami	116
15.2	Svorníkový spoj – osovo namáhaný	116
15.2.1	Únosnosť svorníka v ťahu	116
15.3	Skrutkový spoj	117
15.3.1	Priečne zaťažené skrutky.....	117
15.3.2	Osovo zaťažené skrutky	117
15.3.3	Skrutky zaťažené súčasne priečne aj osovo	118
15.3.4	Stanovenie minimálnych roztečí a vzdialenosti	118
16	Všeobecné vzťahy pre určenie únosnosti oceľových spojov	119
16.1	Čapový spoj	119
16.2	Únosnosť šróbu vo šmyku	120
16.2.1	Návrhová únosnosť jedného šróbu v strihu v závite	120

16.2.2	Posúdenie únosnosti šróbu v strihu	120
16.3	Únosnosť oceleovej dosky	120
16.3.1	Návrhová únosnosť v odtlačení.....	120
16.3.2	Porušenie blokovým šmykom	121
16.3.3	Únosnosť oceleovej dosky na pretlačenie hlavy skrutky alebo matice	122
16.3.4	Únosnosť oceleovej dosky na prostý ohyb.....	122
16.4	Kútový zvar.....	122
16.4.1	Podmienky posúdenia kútového zvaru.....	123
17	Návrh a posúdenie spojov	124
17.1	Spoj rámovej stojky a rámovej priečle.....	124
17.2	Vrcholový klb	129
17.2.1	Návrh a posúdenie svorníkov	129
17.2.2	Návrh a únosnosť styčnickového plechu	131
17.2.3	Návrh a posúdenie čelného plechu.....	132
17.2.4	Návrh a posudok čapu	133
17.2.5	Návrh a posudok kútového zvaru čelného a styčnickového plechu.....	134
17.2.6	Posudok kútového zvaru čapového a čelného plechu	135
17.3	Pätný klb	136
17.3.1	Návrh a posúdenie svorníkov	137
17.3.2	Návrh a únosnosť styčnickového plechu	138
17.3.3	Návrh a posúdenie čelného plechu.....	139
17.3.4	Návrh a posudok čapu	140
17.3.5	Návrh a posudok kútového zvaru čelného a styčnickového plechu.....	141
17.4	Spoj rozpery s priečlou	143
17.4.1	Návrh a posudok svorníkov.....	143
17.4.2	Návrh a únosnosť plechu.....	145
17.4.3	Návrh čapu stužidla.....	147

17.5	Spoj rozpery so stojkou.....	147
17.5.1	Návrh a posudok svorníkov.....	148
17.5.2	Návrh čapu stužidla.....	149
17.6	Spoj oceľového stĺpa s oceľovým priečnikom.....	150
17.6.1	Návrh a posudok šróbov.....	150
17.6.2	Návrh a posudok kútového zvaru.....	152
17.7	Spoj oceľového priečnika so stojkou	153
17.7.1	Návrh a posudok šróbov.....	153
17.7.2	Návrh a posudok skrutiek.....	155
17.7.3	Návrh čapu stužidla.....	158
17.7.4	Návrh a posudok kútového zvaru.....	158
18	Numerické modelovanie rámového spoja	160
18.1	Fyzikálna nelinearita	162
18.1.1	Izotropný model dreva	162
18.1.2	Ortotropný model dreva	162
18.2	Porovnanie sily od momentu	163
18.3	Porovnanie deformácií	164
18.4	Porovnanie napätí.....	166
18.4.1	Napätie od ohybu	166
18.4.2	Ťah kolmo na vlákna	167
18.4.3	Šmyk.....	169
19	Fyzikálny test spoja.....	172
19.1	Numerický model v Scia Engineer 17.1	172
19.1.1	Stabilita modelu.....	173
19.2	Príprava testu	174
19.3	Postup montáže	176
19.4	Zátťažová skúška	178

19.5	Záver testu.....	185
20	Záver.....	186
21	Zoznam použitej literatúry	187
22	Zoznam použitých obrázkov, tabuliek a grafov	189
23	Prílohy	197

Zoznam použitých značiek a symbolov

Písmená veľkej latinskej abecedy

A	plocha prierezu
A_{ef}	efektívna plocha
A_p	plocha podložky
C_e	súčiniteľ expozície
C_t	tepelný súčiniteľ
$E_{0,05}$	hodnota 5% kvantilu modulu pružnosti
E_d	návrhová hodnota modulu pružnosti
E_{mean}	priemerná hodnota modulu pružnosti
F	sila
$F_{ax,Ed}$	návrhová osová sila na spojovací prostriedok
$F_{ax,Rd}$	návrhová hodnota osovej únosnosti spojovacieho prostriedku na vytiahnutie
$F_{ax,Rk}$	charakteristická hodnota osovej únosnosti spojovacieho prostriedku na vytiahnutie
F_c	sila v tlaku
F_d	návrhová sila
$F_{v,Ed}$	návrhová šmyková sila na jeden strih jedného spojovacieho prostriedku
$F_{v,Rd}$	návrhová šmyková únosnosť pre jeden strih jedného spojovacieho prostriedku
$F_{v,Rk}$	charakteristická šmyková únosnosť pre jeden strih jedného spojovacieho prostriedku
F_w	výsledná sila vetra
$G_{k,j}$	charakteristická hodnota j – tého stáleho zaťaženia
H	výška topografického útvaru
$I_v(z)$	intenzita turbolencie vetra
I_y	moment zotrvačnosti k ose y
I_z	moment zotrvačnosti k ose z
K_{ru}	okamžitý modul rotačnej tuhosti pre medzný stav únosnosti
K_{rser}	okamžitý modul rotačnej tuhosti pre medzný stav použiteľnosti
K_{ser}	modul posunutia pre medzný stav použiteľnosti
K_u	okamžitý modul posunutia pre medzný stav únosnosti
M_{Ed}	návrhový moment
M_{Rd}	návrhová únosnosť v ohybe
$M_{y,Rk}$	charakteristický plastický moment únosnosti spojovacieho prostriedku

N_{Ed}	návrhová osová sila
$N_{t,Rd}$	návrhová únosnosť v ťahu
$Q_{k,1}$	charakteristická hodnota hlavného premenného zaťaženia
$Q_{k,i}$	charakteristická hodnota i – tého premenného zaťaženia
U_{creep}	deformácia od dotvarovania
U_{fin}	konečná deformácia
$U_{fin,G}$	konečná deformácia pre stále zaťaženie G
$U_{fin,Q}$	konečná deformácia pre premenné zaťaženie Q
U_{inst}	okamžitá deformácia
$U_{inst,G}$	okamžitá deformácia pre stále zaťaženie G
$U_{inst,Q}$	okamžitá deformácia pre premenné zaťaženie Q
V_{Ed}	návrhová posúvajúca sila
W_y	prierezový modul k ose y
W_z	prierezový modul k ose z

Písmena malej latinskej abecedy

a	vzdialenosť
a_1	rozteč rovnobežne s vláknami medzi spojovacími prostriedkami v jednej rade
a_2	rozteč kolmo ku vláknam medzi radmi spojovacích prostriedkov
$a_{3,c}$	vzdialenosť medzi spojovacím prostriedkom a nezaťaženým koncom
$a_{3,t}$	vzdialenosť medzi spojovacím prostriedkom a zaťaženým koncom
$a_{4,c}$	vzdialenosť medzi spojovacím prostriedkom a nezaťaženým okrajom
$a_{4,t}$	vzdialenosť medzi spojovacím prostriedkom a zaťaženým okrajom
b	šírka
b_{ef}	efektívna šírka prvku
c_d	dynamický súčiniteľ
$c_o(z)$	súčiniteľ orografie
$c_t(z)$	je súčiniteľ drsnosti terénu
c_{season}	súčiniteľ ročného obdobia
d	priemer
$f_{c,0,d}$	návrhová pevnosť v tlaku rovnobežne s vláknami
$f_{c,0,k}$	charakteristická pevnosť v tlaku rovnobežne s vláknami
$f_{head,k}$	charakteristický parameter skrutky na vytiahnutie

$f_{m,d}$	návrhová pevnosť v ohybe
$f_{m,k}$	charakteristická pevnosť v ohybe
$f_{t,0,d}$	návrhová pevnosť v ťahu rovnobežne s vláknami
$f_{t,0,k}$	charakteristická pevnosť v ťahu rovnobežne s vláknami
$f_{teens,Rk}$	charakteristická únosnosť skrutky v ťahu
$f_{v,k}$	charakteristická pevnosť vo šmyku
$f_{v,k}$	návrhová pevnosť vo šmyku
f_y	charakteristická hodnota medze klzu
$f_{y,d}$	návrhová hodnota medze klzu
f_{yp}	medza klzu čapu
h	výška
h_k	výška konštrukcie
i_y	polomer zotrvačnosti k ose y
i_z	polomer zotrvačnosti k ose z
$k_{c,90}$	súčiniteľ zohľadňujúci usporiadanie zaťaženia, možnosť štiepenia a stupeň deformácie v tlaku
$k_{c,y}$ alebo $k_{c,z}$	súčiniteľ vzperu
k_{cr}	súčiniteľ trhlín pre únosnosť vo šmyku
k_{crit}	súčiniteľ používaný pre priečnu a torznú stabilitu
k_{def}	súčiniteľ dotvarovania
k_l	je súčiniteľ turbulencie
k_m	súčiniteľ zohľadňujúci redistribúciu ohybových napätí v priereze
k_{mod}	modifikačný súčiniteľ zohľadňujúci vplyv trvania zaťaženia a vlhkosti
k_p	súčiniteľ maximálnej hodnoty
k_r	súčiniteľ terénu
l_{ef}	účinná dĺžka
m	hmotnosť na jednotku dĺžky
m_w	hmotnosť námrazy
n_{ef}	účinný počet spojovacích prostriedkov
n_r	počet rad spojovacích prostriedkov
n_{st}	počet strihov spoj
q_b	základný dynamický tlak vetra
q_p	maximálny dynamický tlak vetra
s	súčiniteľ; súradnica

s_k	charakteristická hodnota zaťaženia snehom na zemi
t	hrúbka
v_b	základná rýchlosť vetra
v_m	stredná rýchlosť vetra
$v_m(z)$	stredná rýchlosť vetra
w_c	nadvýšenie
w_{creep}	prieťah od dotvarovania
w_{fin}	konečný prieťah
w_{inst}	okamžitý prieťah
$w_{net,fin}$	čistý konečný prieťah
z	výška nad zemou
z_0	parameter drsnosti terénu

Písmená malej gréckej abecedy

α	uhol medzi silou a smerom vlákien, uhol medzi smerom zaťaženia a zaťaženým okrajom (alebo koncom), uhol
β_c	súčiniteľ priamosti
$\gamma_{G,j}$	dielčí súčiniteľ j – tého stáleho zaťaženia
γ_m	dielčí súčiniteľ vlastností materiálu, v ktorom sú uvažované modelové neistoty a premennosť prierezu
γ_{M0}	dielčí súčiniteľ spoľahlivosti materiálu
γ_{M2}	dielčí súčiniteľ spoľahlivosti materiálu oslabeného otvormi
$\gamma_{Q,1}$	dielčí súčiniteľ i – tého stáleho zaťaženia
$\lambda_{rel,y}$	pomerný štíhlostný pomer zodpovedajúci ohybu okolo osi y
$\lambda_{rel,z}$	pomerný štíhlostný pomer zodpovedajúci ohybu okolo osi z
λ_y	štíhlostný pomer zodpovedajúci ohybu okolo osi y
λ_z	štíhlostný pomer zodpovedajúci ohybu okolo osi z
ρ	merná hustota vzduchu, doporučená hodnota 1,25 kg/m ³
ρ_k	charakteristická hustota
ρ_m	priemerná hustota spojovaného dreveného prvku
$\sigma_{c,0,d}$	návrhové napätie v tlaku rovnobežne s vláknami
$\sigma_{c,90,d}$	návrhové napätie v tlaku kolmo na vlákna
$\sigma_{m,y,d}$	návrhové napätie v ohybu ku hlavnej ose y

$\sigma_{m,z,d}$ návrhové napätie v ohybu ku hlavnej ose z

$\sigma_{t,0,d}$ návrhové napätie v ťahu rovnobežne s vláknami

τ_d návrhové napätie vo šmyku

ψ_0 súčiniteľ pre kombinačnú hodnotu premenného zaťaženia

$\psi_{0,i}$ súčiniteľ pre kombinačnú hodnotu i – tého premenného zaťaženia

ψ_2 súčiniteľ pre kvázistálu hodnotu premenného zaťaženia

Úvod

Drevo sa používa pre stavebné účely už niekoľko tisícročí a stále je nezanedbateľným stavebným materiálom pre stavebníctvo. Je ľahko dostupné, ľahko obnoviteľné, má dobré statické vlastnosti, ľahko sa opracováva, je zdravotne nezávadné a ako materiál človeku najpríjemnejšie.

Cieľom diplomovej práce je vytvoriť výpočtový model drevenej haly, ktorá sa bude nachádzať v meste Ostrava v Českej republike, v software Scia Engineer 17.1 a posúdiť jej nosnú konštrukciu a vybrané spoje. Použitým materiálom je lepené lamelové drevo. Pre konštrukciu budú prevedené návrhy a posudky nosných prvkov konštrukcie, návrhy a posudky spojov konštrukcie. Tieto prvky a spoje budú navrhnuté tak, aby vyhoveli medznému stavu únosnosti a použiteľnosti podľa príslušných Eurokódov. Následne bude prevedená numerická analýza rámového spoja s kovovými mechanickými prostriedkami. Ako spojovacie prostriedky budú zvolené skrutky namiesto svorníkov a kolíkov, ktoré sú štandardnými spojovacími prostriedkami tohoto typu spoja. Po numerickej analýze bude nasledovať fyzikálny test navrhnutého rámového spoja v skutočnej mierke. Cieľom testu bude zistiť zaťaženie, pri ktorom dôjde ku kolapsu spoja a porovnať túto hodnotu s návrhovým výpočtom podľa normy a odbornej literatúry, identifikovať miesto porušenia spoja a porovnať ho s numerickým modelom.

1 Drevo a materiály na báze dreva

Drevo patrí spolu s kameňom a hlinou medzi najstaršie stavebné materiály prírodného pôvodu. Jedna sa o najdôležitejšiu surovinu takmer po celú dobu existencie ľudstva. Uplatňuje sa v bývaní, výrobe, v doprave, športe, kultúre, v oblasti umenia aj ako nosič informácií (papier). Je jednou z malých obnoviteľných surovín a je významným zdrojom energie pre veľkú časť ľudstva.

1.1 Drevo, obnoviteľná surovina

Drevo je organický, anizotropný, a hygroskopický materiál získavaný z drevín. Vo svete je popísaných približne 423 000 druhov rastlín, medzi nimi je približne 30 000 druhov drevín. Z tohto počtu je cca 3000 – 5000 druhov drevín vhodných k priemyslovému využitiu. Rozlišujú sa dreviny ihličnaté a listnaté. Dreviny sa ďalej delia na mäkké a tvrdé. Medzi kladné vlastnosti dreva patrí relatívne vysoká pevnosť vzhľadom k jeho hmotnosti, ľahká opracovateľnosť, nízka tepelná vodivosť a príjemný vzhľad drevených konštrukcií.

1.2 Vlastnosti dreva

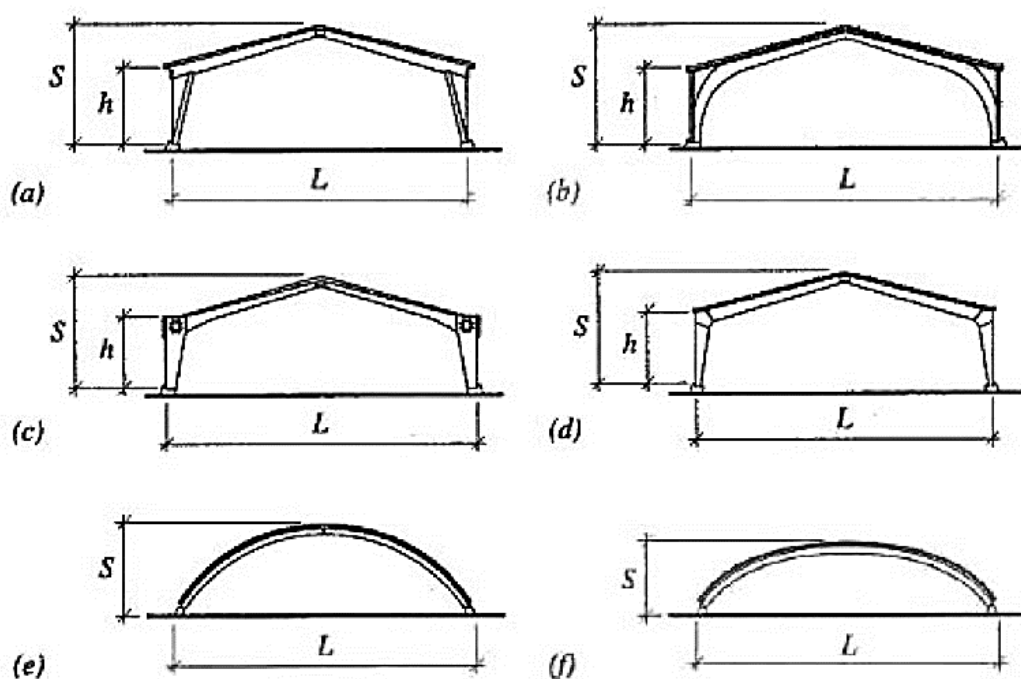
Drevo je materiál s vysokou variabilitou vlastností. Tento rozptyl vlastností je ovplyvnený množstvom faktorov. Medzi najvýznamnejšie patrí druh dreviny ale aj lokalita v ktorom strom rástol a nepochybne aj následný spôsob a kvalita spracovania. Pokiaľ hovoríme o dreve ako o konštrukčnom materiály, máme väčšinou na mysli rastlé drevo získané výrezom z kmeňa ihličnatej alebo listnatej dreviny.

Drevo má vzhľadom ku smere vlákien značne rozdielne vlastnosti. Vlastnosti sledované rovnobežne s vláknami sú veľmi odlišné od vlastností sledovaných kolmo ku vláknam. Najväčšie pevnosti a tuhosti a najmenšie deformácie po účinku vlhkosti a teploty má drevo v smere rovnobežne s vláknami.

Vlastnosti dreva, ktoré ovplyvňujú chovanie drevených prvkov a konštrukcií, môžeme rozdeliť na fyzikálne a mechanické (zdroj [1]).

2 Rámové sústavy drevostavieb

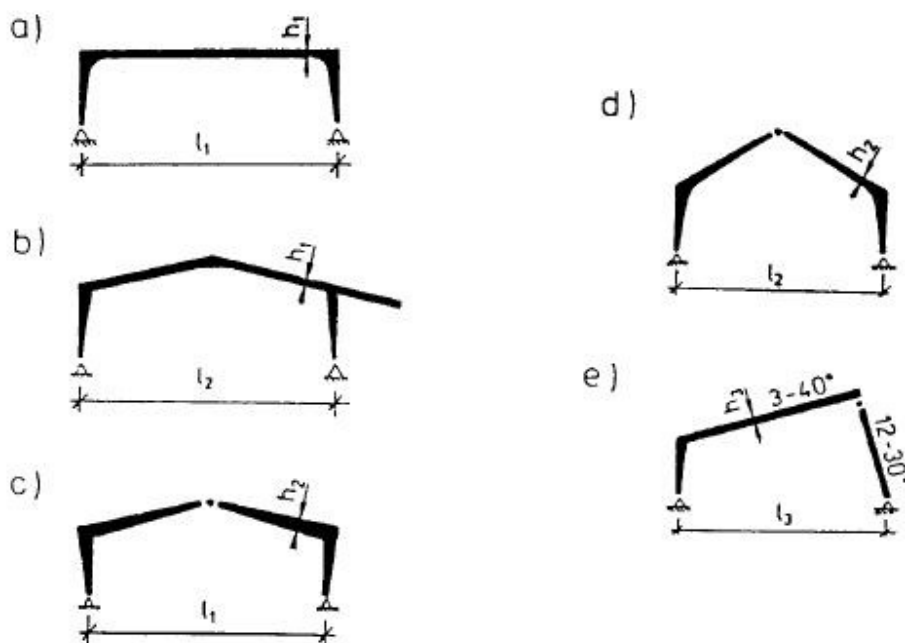
Rámová sústava (obrázok 2.1) vzniká spojením rámovej stojky a rámovej priečle v mieste rámového rohu (obrázok 3.1). Rozlišujeme rámové sústavy dvojklbové (klby umiestnené v podperách) a trojklbové (klbové uloženie a vrcholový klb). Druhá menovaná sústava je menej náchylná na poklesy podpôr a objemové zmeny vplyvom vlhkosti, preto bol tento konštrukčný systém zvolený v riešenej hale diplomovej práce. Konštrukcia votknutá v podperách sa vzhľadom k náročnej montáži a zavedení ohybových momentov do základov takmer nepoužíva [2].



Obrázok 2.1 Rámové sústavy: a) s rozoberateľným rámovým rohom; b) so zakriveným rámovým rohom; c) s kruhom hmoždíkov; d) s rámovým rohom so zubovitým spojom; e) trojklbový oblúk; f) dvojklbový oblúk zdroj [2]

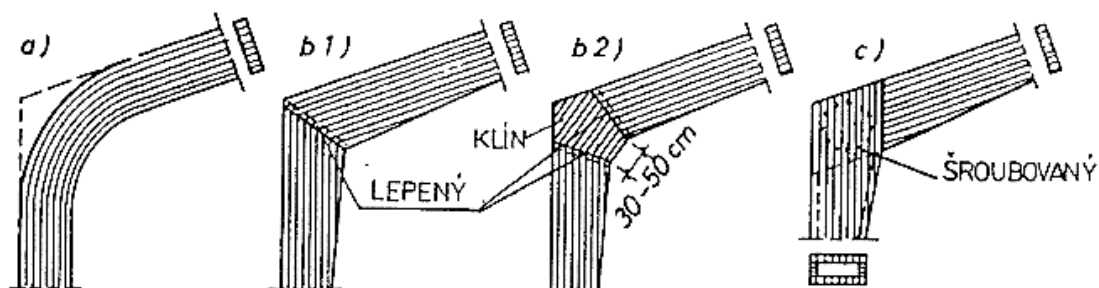
2.1 Plnostenné rámy

Základné tvary plnostenných rámov sú zobrazené na obrázku 2.2.



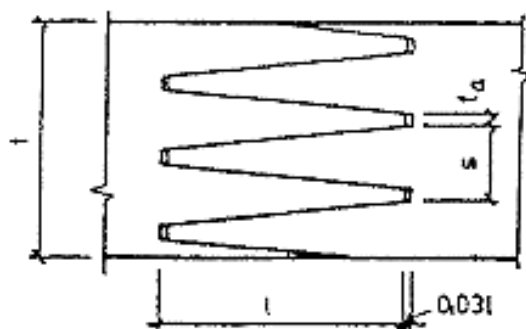
Obrázok 2.2 Plnostenné rámy zdroj [3]

Kľúčovým problémom drevených rámových konštrukcií je vytvorenie styku rámovej stojky a rámovej priečle v mieste rámového rohu (obrázok 2.3).



Obrázok 2.3 Možnosti prevedenia rámového rohu zdroj [3]

Jedným zo spôsobov je používané riešenie, ktoré problém stykovania obchádza zakrivením strednice rámu v mieste rámového rohu. Polomer zakrivenia by pritom nemal byť menší než 200 násobok hrúbky dosky. Perspektívnym spojom rámovej stojky a priečle v mieste rámového rohu je lepený ozubový spoj. Do šikmo zarezanej stojky a priečle sa vyfrézuje ozubenie (obrázok 2.4) a oba diely sa zlepia. Určitým problémom je trvalá pevnosť lepeného spoja. Na ozubenej časti spoja je preto potrebné používať veľmi kvalitné lepidlá.

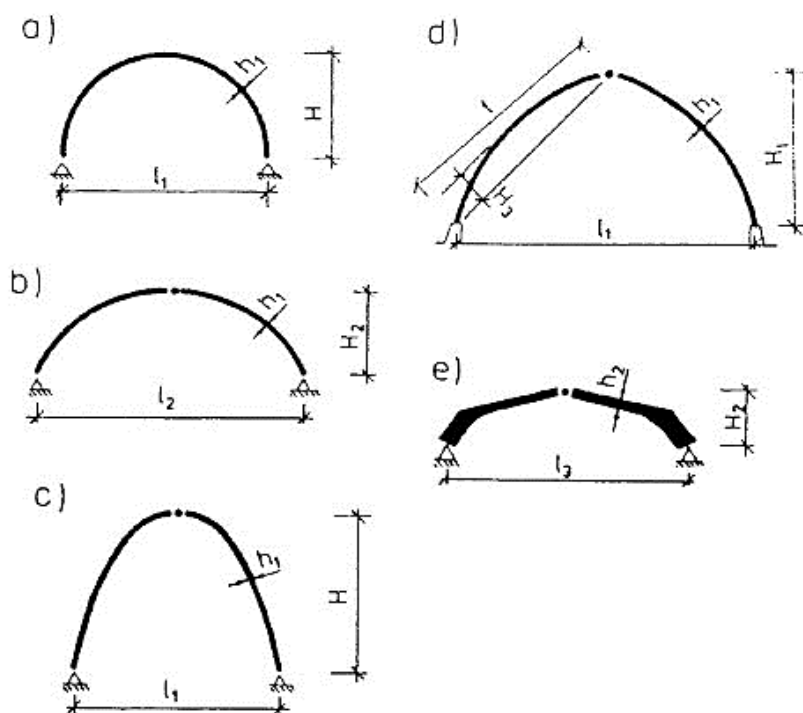


Obrázok 2.4 Prierez ozubového spoja zdroj [3]

Druhým riešením, svorníkové (skrútkované) rámové rohy, sú vhodným prevedením styku stojky a priečle v mieste rámového rohu. Umožňujú montáž rámovej konštrukcie na stavenisku v bežných podmienkach a ich následné rozobratie. Na ich realizáciu je možné použitie rôznych spojovacích prostriedkov krúžky, svorníky, kolíky a skrútky. Pre všetky menované druhy spojovacích prostriedkov platí, že najvhodnejšie je ich usporiadanie do kruhu alebo medzikružia. Určitým problémom svorníkových rámových rohov je, že sú náchylné ku štiepaniu pri vonkajšom okraji. To platí hlavne pre trojkĺbové rámové konštrukcie. Preto je vhodné robiť záhlavie stojky a priečle vo vzťahu ku spojovacím prostriedkom čo najväčšie, napr. excentrickou polohou spoja, alebo pretiahnutím stojky a priečle cez líce konštrukcie, pokiaľ je to možné. Pretože tieto rámové rohy nie sú absolútne tuhé je potrebné pri dvojklbových rámových konštrukciách počítať s redistribúciou momentov, vyplývajúcich z preklížnutia spoja rámovej stojky a priečle. Vplyvom tohoto preklížnutia sa momenty v rámovom rohu znižujú, zatiaľ čo v rámovej priečli sa zväčšujú. Miera zväčšenia odpovedajúcej veľkosti preklížnutia je daná predovšetkým poddajnosťou svorníkového (skrútkového) spoja, ktorá závisí na druhu použitého spojovacieho prostriedku. Približne je možné uvažovať so zväčšením momentov v priečli v rozmedzí 10 až 20% pre svorníky.

2.2 Plnostenné oblúky

Základné tvary plnostenných oblúkov sú znázornené na obrázku 2.5.



Obrázok 2.5 Plnostenné oblúky zdroj [3]

Oblúčová konštrukcia je konštrukčná sústava, ktorá je vhodná na malé aj veľké rozpätia. Najrozšírenejší je trojkľbový oblúk s tiahom, používaný na zastrešenie halových objektov za predpokladu, že tiahlo funkčne ani esteticky neprekáža. Dnes sa väčšia pozornosť venuje oblúčovým konštrukciám bez tiahla, ktoré sa konštruujú na stále väčšie rozpätia. Doteraz boli bežne realizované konštrukcie o rozpätí do 60 m v podobe trojkľbových oblúkov bez montážnych stykov. Ak prekročí rozpätie 60 m, je oblúk podstatne náročnejší. Jednak musíme previesť statický výpočet podľa teórie 2. rady, rovnováhy síl na deformovanej konštrukcii, jednak sú nevyhnutné montážne styky prierezu oblúku [3].

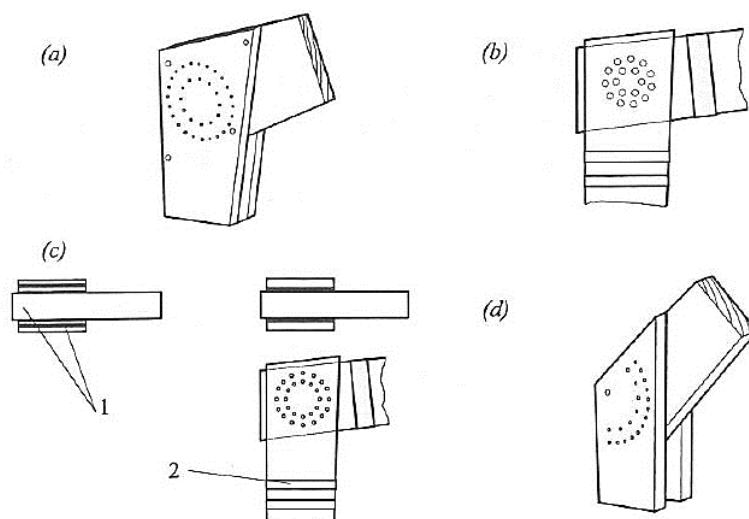
3 Rámové rohy

Rámové rohy drevostavieb je možné vytvoriť viacerými spôsobmi. Stojka a priečla s premennou výškou prierezu a ohybovo tuhým vzájomným spojením (takéto spojenie bolo zvolené v diplomovej práci kapitola 17.1). Rámový roh rozložený do tlakovej a ťahovej stojky tvaru V, alebo vytvorenie rámového rohu pomocou kolíkov. Rámový roh s veľkým ozubeným spojom alebo vytvorenie rohu pomocou vlepovaných prútov.

3.1 Použitie mechanických spojovacích prostriedkov

Rámy pre rozpätie až do 50 m sú veľmi často navrhované s použitím prvkov premennej výšky, jednodielne priečla a dvojdielne stojky (obrázok 3.1). Ako sa statický systém sa volí trojkĺbový rám, aby sa zabránilo namáhaniu účinkom prídavných vnútorných síl, napríklad pri poklese základov. V rámovom rohu sú vnútorné sily prenášané mechanickými spojovacími prostriedkami, ktoré sú usporiadané do kruhu alebo pravouhlo. Aby sa získala dostatočne veľká pripojovacia plocha pre spojovacie prostriedky, je stredná výška prierezu stojky a priečla v rámovom rohu v rozmedzí $L/20$ až $L/30$, kde L je rozpätie rámu. Hlavnou nevýhodou tohto ohybovo tuhého spoja je riziko rozštiepenia dreva účinkom kolísania vlhkosti v oblasti spoja. Pri použití oceľových kolíkov je možné riziko rozštiepenia znížiť, pokiaľ je pre kolíky rozhodujúci mechanizmus porušenia II (kapitola 4.2.2) alebo III (kapitola 4.2.3), vytvorením plastických kĺbov. Pri zalisovaných hmoždinkách je možné rozštiepenie obmedziť vystriedaným rozmiestnením hmoždínok vnútorného kruhu oproti hmoždinkám vonkajšieho kruhu (obrázok 3.1 b)). Pri oboch druhoch spojovacích prostriedkov je riziko trhlín redukované zosilnením podľa obrázku 3.1 c), vlepom alebo prílepením na koncoch prútu.

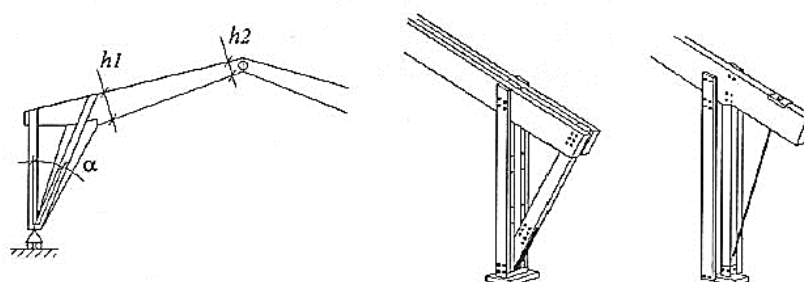
Pre obmedzenie napätia v blízkosti čela prvku je možné regulovať mechanické chovanie umiestnením tuhej oceľovej tyče do stredu otáčania. Ohybový moment je prenášaný neúplným usporiadaním spojovacích prostriedkov, rozmiestnenie pozdĺž tlakovej čiary v oblasti spoja (obrázok 3.1 d)).



Obrázok 3.1 Rámové rohy s mechanickými spojmi: a) typický rámový roh s kolíkmi, b) zalisované hmoždíky, c) zosilnenie prvkov: 1 vplenené prúty alebo 2 prilepené prekližkové dosky, d) špeciálne usporiadanie kolikového spoja zdroj [4]

3.2 Stojka tvaru V

Táto alternatíva spočíva v rozložení rámového rohu do stojky usporiadanej do tvaru V, ktorá je pripojená k priečli (obrázok 3.2). Podľa kritérií stability a účinkov vodorovných zaťažení môže byť tento druh rámu vytvorený ako dvojkĺbový, s priebežnou priečlou sedlového tvaru s nadvýšeným dolným okrajom, pre rozpätie až do 30 m. Pre ešte väčšie rozpätie sa majú navrhovať trojkĺbové rámy. Výška priečle je pre h_1 v rozmedzí 1/30 až 1/40 rozpätia a pre h_2 v rozmedzí 1/40 až 1/60 rozpätia rámu. Pre prenos ohybového momentu ma byť uhol α medzi tlačnou a ťahanou stojkou v rozmedzí 10° až 20°.

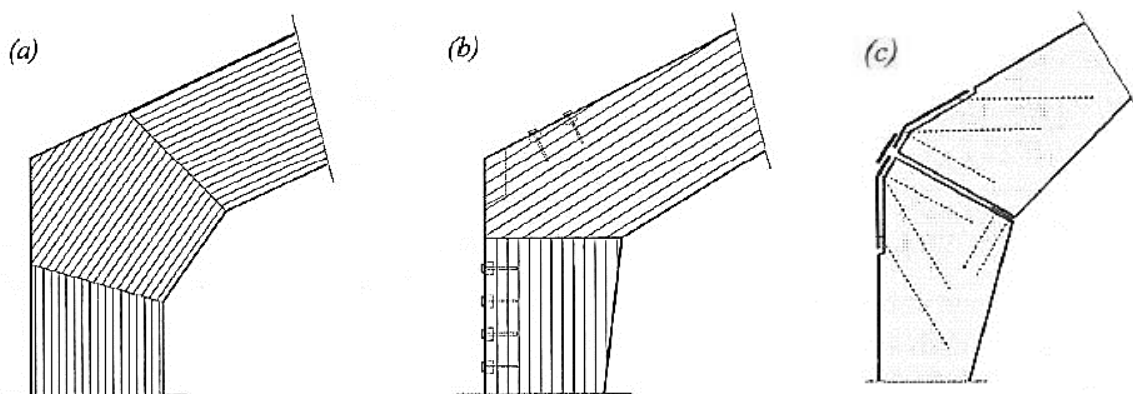


Obrázok 3.2 Geometria rámu so stojkami tvaru V zdroj [4]

Stojka tvaru V je vytvorená z vnútorného tlačného prvku z dreva a vonkajšieho ťahaného prvku, buď z dreva alebo z ocele. Pre tieto rámy musia byť dôkladne vyšetrené všetky kombinácie zaťaženia tiež s uvažovaním na možné vystriedanie ťahu a tlaku v prvkoch stojky.

3.3 Použitie lepených spojov

Na lepenie rámových rohov sa používajú buď veľké ozubené spoje alebo vlepované oceľové prúty (obrázok 3.3). Tieto lepené spoje, vyvinuté predovšetkým v Škandinávii, umožňujú prenos veľkých síl a vykazujú značne vysokú tuhosť. Obmedzenie pri použití môže byť predovšetkým z dôsledku krehkého chovania týchto spojov pri porušení. Ich výroba a zabudovanie preto predpokladá dôkladnú a rozsiahlu kontrolu akosti a vyžaduje dodržanie špeciálnych výrobných požiadaviek. Z týchto dvoch prevedení je bežnejší rámový roh s ozubeným spojom. Ozubený profil je frézovaný tak, že ozuby prebiehajú zvisle, tj. rovnobežne s výškou prierezu. Rámový roh sa obvykle zhotovuje vsadením rohovej vložky s obojstranným veľkým ozubeným spojom. Tím je uhol medzi smerom sily a smerom vlákien polovičný a pevnosť spoja následkom toho väčšia. Pri rohovom momente je potrebné uvážiť možnú zmenu znamienka, pretože únosnosť veľkých ozubených spojov pri zápornom momente M_{neg} je väčšia, než pri kladnom momente M_{pos} . Absolútna hodnota pomeru M_{pos}/M_{neg} kolísava medzi 0,1 a 0,2 pre sklon strechy 0° až 30° (Reyer et al., 1991, Heimeshoff, 1976).



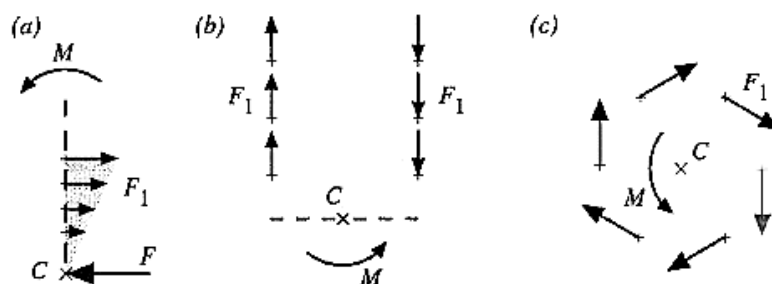
Obrázok 3.3 Rámové rohy s veľkým zubovitým spojom a), s vlepovanými prútmi b), rámový roh so šikmo vlepovanými prútmi c) zdroj [4]

Pretože výroba takýchto spojov sa predpokladá vo výrobnom závode, je používanie týchto nerozoberateľných spojov obmedzená tiež prepravnými možnosťami. K tejto nevýhode a riziku krehkého porušenia jednotlivého konštrukčného prvku nedochádza pri rámovom rohu s vlepovanými prútmi. Na obrázku 3.3 c) je zobrazené prevedenie so šikmo vlepenými prútmi, tým je redukovaný vplyv prípadného popraskania dreva na únosnosť spoja. V tomto prípade sú vnútorné sily prenášané oddelenými tlačnými a ťahanými elementami, pri čom môžu byť tiež prenášané nízke namáhania s opačnými znamienkami.

4 Určenie únosnosti a použiteľnosti spoja

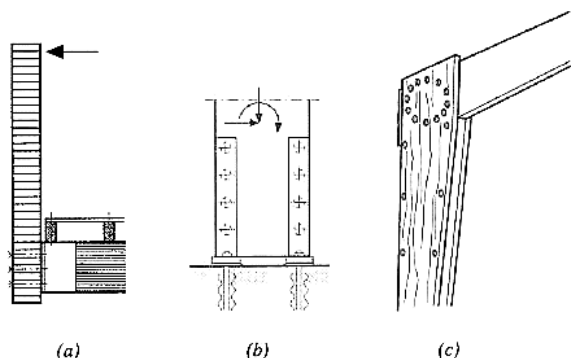
Spojovacie prostriedky v tradičných drevených konštrukciách sú vo väčšine prípadov namáhané v smere prenášanej sily. Pri výpočte je spoj často uvažovaný ako klbový, pretože spojovacie prostriedky sú umiestnené na malej ploche a možnosť prenosu momentu je obmedzená. Zavedenie lepeného lamelového dreva a iných materiálov na báze dreva v drevených konštrukciách však viedlo k rade nových možností a pre splnenie požiadaviek noriem alebo optimalizácií konštrukčného riešenia sú v rastúcej miere navrhované spoje tuhé v ohybe. Tvarom konštrukcie a spôsobom namáhania konštrukčných prvkov je pritom v zásade určená voľba spojovacích prostriedkov a spôsob výroby spoja.

Pre spoje tuhé v ohybe sú možné tri spôsoby rozdelenia síl (obrázok 4.1). V závislosti na strede otáčania spoja C vychádza veľkosť a smer síl spojovacích prostriedkov na vytiahnutí (F_w) popřípadě na strih (F_L) z rovnováhy s pôsobiacim momentom.



Obrázok 4.1 Rozdelenie síl na jednotlivé spojovacie prostriedky v spojoch tuhých v ohybe zdroj [2]

V súlade s rozdelením síl podľa obrázku 4.1 sú na obrázku 4.2 ukázané príklady spojov tuhých v ohybe.



Obrázok 4.2 Príklady spojov tuhých v ohybe s mechanickými spojovacími prostriedkami, a) pripojenie stĺpu a zábradlia k priečnemu nosníku lávky pre chodcov, b) styk tuhý v ohybe spojitého nosníka alebo oblúka a c) rohový spoj trojkĺbového rámu zdroj [2]

Spojovacie prostriedky v spoji (obrázok 4.1 a)) sú namáhané účinkom sily F a príslušného momentu ($F a$) silami na vytiahnutie. Prípadne (obrázok 4.1 b)) sú strihovú sily spojovacích prostriedkov v rovnováhe s ohybovým momentom. Normálové a posúvajúce sily sú prenášané do základov prostredníctvom oceľových konštrukčných častí, ktoré namáhajú drevený stĺp tlakom rovnobežne a kolmo ku vláknam. Vzhľadom k pôsobeniu vysokých napätí kolmo ku vláknam sa toto riešenie používa len pre malé ohybové momenty.

V poslednom spoji (obrázok 4.1 c)) sú spojovacie prostriedky navrhnuté pre prenos vnútorných síl stanovených výpočtom.

4.1 Nosné chovanie spojov

Pre odvodenie návrhových vzťahov je najskôr uvažovaný priebeh síl v spoji pri pôsobení momentu. Jednotlivé spojovacie prostriedky sú pritom namáhané pod rôznymi uhlami ku vláknam. Okrem toho sa musí prihliadať k usporiadaniu spoja. Rozlišujú sa dva rozdielne typy spojov:

- styky vzájomne rovnobežných drevených prvkov (obrázok 4.3 a)),
- spoje konštrukčných prvkov so vzájomne skríženými vláknami (obrázok 4.3 b)).

Konštrukčné prvky sa zjednodušene predpokladajú nekonečne tuhé, pretože majú podstatne väčšiu tuhosť a pevnosť než spoj. Pootočením v spoji preto vyplýva z torzného posunutia ω spojovacích prostriedkov (obrázok 4.3 c)). So stredom otáčania C vychádza podmienka rovnováhy zo vzťahu.

$$M = \sum_{j=1}^n F_{M,j} \cdot r_j \quad (4.1)$$

kde $F_{M,j}$ je zaťaženie spojovacieho prostriedku j

r_j označuje vzdialenosť od stredu otáčania

Za predpokladu lineárneho chovania spojovacieho prostriedku platia tieto vzťahy.

$$ds_k = \frac{F_{M,k}}{K_{\alpha k}} \quad \text{a} \quad \alpha = \frac{ds_k}{r_k} = \frac{F_{M,k}}{K_{\alpha k} \cdot r_k} = \frac{F_{M,j}}{K_{\alpha j} \cdot r_j} = \frac{F_{M,i}}{K_{\alpha i} \cdot r_i} \quad (4.2)$$

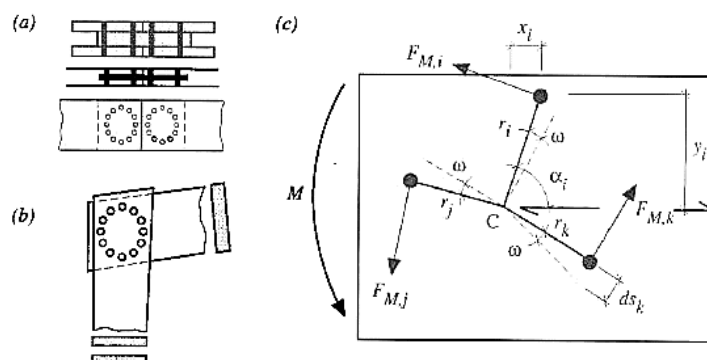
kde $K_{\alpha k}$ je modul posunutia v smere sily ($\alpha_k + \pi/2$)

Na základe vzťahov (4.1) a (4.2) je možné zaťaženie spojovacieho prostriedku i vyjadriť takto.

$$F_{M,i} = \frac{K_{\alpha i} \cdot r_i}{K_r} \cdot M \quad (4.3)$$

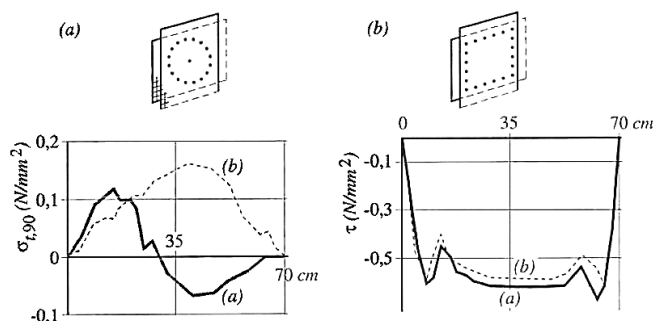
s pružinovou torznou tuhosťou K_r

$$K_r = \sum_{j=1}^n K_{\alpha j} \cdot r_j^2 \quad (4.4)$$



Obrázok 4.3 Spoje tuhé v ohybe: a) styk priameho konštrukčného prvku, b) skrížene usporiadané konštrukčné prvky, c) geometria a zaťaženie spojovacích prostriedkov zdroj [2]

Pri navrhovaní spoja je nutné overiť okrem namáhania spojovacích prostriedkov tiež namáhanie dreva v oblasti spoja. Na obrázku 4.4 je zrejmé, že pravouhlé usporiadanie spojovacích prostriedkov spôsobuje výrazne nepriaznivejšiu kombináciu napätia v šmyku a v ťahu kolmo na vlákna, než pri kruhovom usporiadaní. Ak sú spojovacie prostriedky rozmiestnené pozdĺž okrajov konštrukčného prvku, dochádza k vyšším napätiam v ťahu kolmo na vlákna hlavne v blízkosti čela dreveného prvku. Pri tomto usporiadaní je možné obmedziť riziko trhlín tým, že sa v rohu neumiestnia spojovacie prostriedky, použijú sa štíhlejšie spojovacie prostriedky (s menším priemerom) alebo zosilnením, napríklad nalepením dosky na báze dreva.



Obrázok 4.4 Napätie v spoji tuhom v ohybe. a) usporiadanie spojovacích prostriedkov, b) napätie v šmyku v reze prechádzajúcim ťažiskom spoja a c) napätie v ťahu kolmo na vlákna vo vzdialenosti 100 mm od konca konštrukčného prvku (Racher a Gallimard, 1991) zdroj [2]

Pre výpočet najväčších napätí v šmyku sa sčítajú zložky síl v smere osy y prenášané spojovacími prostriedkami na jednej strane ťažiska. S vyššie uvedeným označením (obrázok 4.4) vychádza posúvajúca sila V_M vyvedená spojovacími prostriedkami.

$$V_M = M \cdot \sum_{\alpha i = -\pi/2}^{\pi/2} \frac{K_{u,\alpha i}}{K_{r,u,d}} \cdot x_i \quad (4.5)$$

Prenášaný moment vyvodzuje namáhanie F_M pôsobiace kolmo ku spojnici medzi stredom otáčania a spojovacím prostriedkom. Pre typ spoja A (obrázok 4.4) najväčšia hodnota vychádza zo vzťahu.

$$F_M = \frac{K_{\alpha u} \cdot r_i}{K_{r,u,d}} \cdot M_{u,d} = \frac{r_1}{n_1 \cdot r_1^2 + n_2 \cdot r_2^2} \cdot M_{u,d} \quad (4.6)$$

Posúvajúca a osová sila (V a N) sa rozdeľujú na spojovacie prostriedky rovnomerne.

$$F_V = \frac{V_{u,d}}{n} \quad F_N = \frac{N_{u,d}}{n} \quad (4.7)$$

Celkové zaťaženie jednotlivého spojovacieho prostriedku vychádza z vektorového súčtu hodnôt F_M , F_N a F_V . Najviac namáhaným spojovacím prostriedkom je

- spojovací prostriedok v kruhu spojovacieho prostriedku, pri ktorom je smer výslednice od N a V zhodný so smerom F_M , prípadne
- spojovací prostriedok s najväčšou vzdialenosťou od stredu otáčania pri pravouhlom alebo lichobežníkovom usporiadaní.

S hodnotami namáhania podľa vzťahov (4.6) a (4.7) vychádza namáhanie spojovacieho prostriedku, umiestneného v ose konštrukčného prvku, hodnotou.

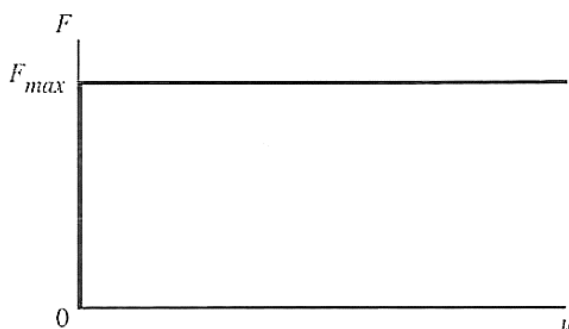
$$F_{1,d} = \sqrt{(F_M + F_V)^2 + F_N^2} \quad (4.8)$$

s uhlom medzi smerom sily a smerom vlákien

$$\alpha_1 = \arctan \left[\frac{F_M + F_V}{F_N} \right] \quad (4.9)$$

4.2 Mechanizmy zlyhania spoja

Predpokladom pri odvodení Johansenových vzťahov pre medzný stav únosnosti je ideálne plastické chovanie materiálu spojovacieho prostriedku aj dreva. Predpokladaná závislosť zaťaženia - zatlačenia spojovacích prostriedkov do dreva je znázornená na obrázku 4.5. Táto približnosť zjednodušuje výpočet, prakticky sa však neprejavuje na výsledku.



Obrázok 4.5 Zjednodušená závislosť zaťaženia-zatlačenia zdroj [2]

V texte budú použité nasledovné značky.

t_1 a t_2 je hrúbka dreva prípadne hĺbka zasahovania spojovacieho prostriedku,

$f_{h,1,k}$ charakteristická hodnota pevnosti v odtlačení steny otvoru konštrukčného prvku 1

$f_{h,2,k}$ charakteristická hodnota pevnosti v odtlačení steny otvoru konštrukčného prvku 2

$f_{h,d}$ návrhová hodnota pevnosti v odtlačení steny otvoru

d priemer spojovacieho prostriedku

$M_{y,k}$ charakteristická hodnota momentu klzu spojovacieho prostriedku

$M_{y,k}$ návrhová hodnota momentu klzu

R_d návrhová hodnota únosnosti na strihovú škára

$$\beta = \frac{f_{h,2,d}}{f_{h,1,d}} \quad (4.10)$$

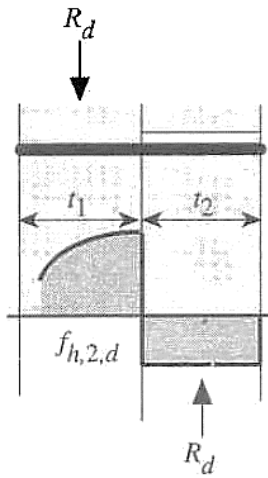
pričom

$$f_{h,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{h,k}}{\gamma_M} \quad (4.11)$$

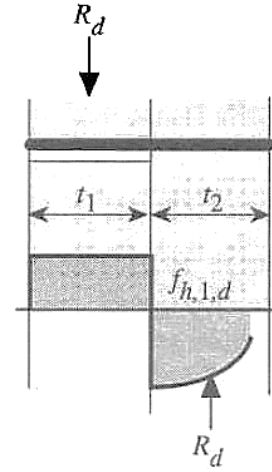
$$M_{y,d} = \frac{M_{y,k}}{\gamma_M} \quad (4.12)$$

4.2.1 Mechanizmus zlyhania I

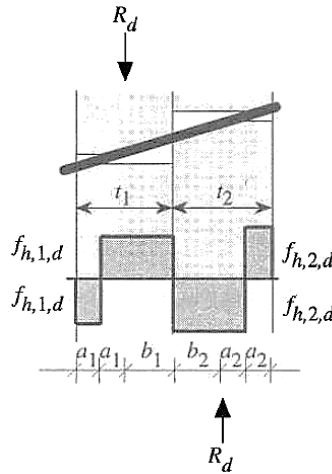
Mechanizmus zlyhania 1a) je zobrazený na obrázku 4.8 a mechanizmus zlyhania 1b) na obrázku 4.6 a obrázku 4.7.



Obrázok 4.7 Zlyhanie v konštrukčnom prvku 1
zdroj [2]



Obrázok 4.6 Zlyhanie v konštrukčnom prvku 2
zdroj [2]



Obrázok 4.8 Mechanizmus zlyhania 1a) zdroj [2]

Z obrázku 4.6 vyplýva.

$$R_d = f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d \quad (4.13)$$

Z obrázku 4.7 vyplýva.

$$R_d = f_{h,2,d} \cdot t_2 \cdot d \quad (4.14)$$

$$R_d = \beta \cdot f_{h,1,d} \cdot t_2 \cdot d \quad (4.15)$$

Z obrázku 4.8 vyplýva

$$R_d = f_{h,1,d} \cdot d \quad (4.16)$$

$$b_1 = f_{h,2,d} \cdot d \quad (4.17)$$

$$b_2 = \beta \cdot f_{h,1,d} \cdot d \cdot b_2 \quad (4.18)$$

$$b_1 = \beta \cdot b_2 \quad (4.19)$$

Ohybový moment v strihovej škáre

$$= f_{h,1,d} \cdot d \cdot \left(\frac{b_1^2}{2} - a_1^2 \right) \quad (4.20)$$

$$= f_{h,2,d} \cdot d \cdot \left(a_2^2 - \frac{b_2^2}{2} \right) \quad (4.21)$$

$$= \beta \cdot f_{h,1,d} \cdot d \cdot \left(a_2^2 - \frac{b_2^2}{2} \right) \quad (4.22)$$

Po porovnaní a nahradení b_2 veličinou $\frac{b_1}{\beta}$ vychádza:

$$\frac{b_1^2}{2} \cdot \frac{\beta + 1}{\beta} = \beta \cdot a_2^2 + a_1^2 \quad (4.23)$$

$$a_1 = \frac{t_1 - b_1}{2} \quad a_2 = \frac{t_2 - b_2}{2} = \frac{\beta \cdot t_2 - b_1}{2 \cdot \beta} \quad (4.24)$$

Dosadením za a_1 a a_2 vychádza:

$$b_1^2 \cdot \left(\frac{1 + \beta}{\beta} \right) + 2 \cdot b_1 \cdot (t_1 + t_2) - (t_1^2 + \beta \cdot t_2^2) = 0 \quad (4.25)$$

Riešením podľa b_1 vychádza:

$$b_1 = \frac{t_1}{1 + \beta} \cdot \left[\sqrt{\beta + 2 \cdot \beta^2 \cdot \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \cdot \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \cdot \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] \quad (4.26)$$

$$R_d = f_{h,1,d} \cdot d \cdot b_1 \quad (4.27)$$

$$R_d = \frac{f_{h,1,d} \cdot d \cdot t_1}{1 + \beta} \cdot \left[\sqrt{\beta + 2 \cdot \beta^2 \cdot \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \cdot \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \cdot \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] \quad (4.28)$$

4.2.2 Mechanizmus zlyhania II

Mechanizmus zlyhania 2a) je na obrázok 4.9 . Posúvajúca sila v kolíku je v mieste najväčšieho ohybového momentu nulová.

$$f_{h,1,d} \cdot d \cdot b_1 = f_{h,2,d} \cdot d \cdot b_2 = \beta \cdot f_{h,1,d} \cdot d \cdot b_2 \quad (4.29)$$

$$b_1 = \beta \cdot b_2 \quad (4.30)$$

$$M_{y,d} = -f_{h,2,d} \cdot d \cdot \frac{b_2^2}{2} + f_{h,1,d} \cdot d \cdot (b_1 + a_1) \cdot \left(b_2 + \frac{b_1 - a_1}{2}\right) - f_{h,1,d} \cdot d \cdot a_1 \cdot \left(b_1 + b_2 + \frac{3 \cdot a_1}{2}\right) \quad (4.31)$$

Dosadením (4.32) do (4.31) dostaneme výraz (4.33).

$$f_{h,2,d} = \beta \cdot f_{h,1,d} \quad a_1 = \frac{t_1 - b_1}{2} \quad (4.32)$$

$$b_1^2 + t_1 \cdot \frac{2 \cdot \beta}{2 + \beta} \cdot b_1 - \frac{\beta \cdot t_1^2}{2 + \beta} - \frac{M_{y,d}}{f_{h,1,d} \cdot d \cdot t_1^2} \cdot \frac{4 \cdot \beta}{2 + \beta} = 0 \quad (4.33)$$

Z výrazu (4.33) plynie:

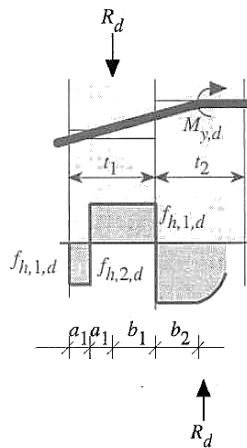
$$b_1 = \frac{t_1}{2 + \beta} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,d}}{f_{h,1,d} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] \quad (4.34)$$

Pričom:

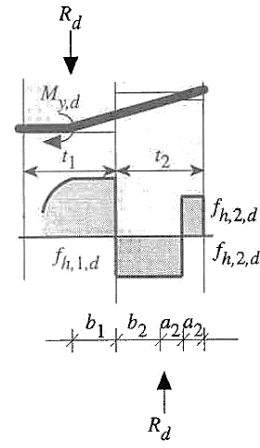
$$R_d = f_{h,1,d} \cdot d \cdot b_1 \quad (4.35)$$

Dosadením výrazu (4.34) do (4.35) dostaneme výsledný tvar rovnice.

$$R_d = \frac{f_{h,1,d} \cdot d \cdot t_1}{2 + \beta} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,d}}{f_{h,1,d} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] \quad (4.36)$$



Obrázok 4.9 Mechanizmus zlyhania 2a) zdroj [2]



Obrázok 4.10 mechanizmus zlyhania 2b) zdroj [2]

Ako je uvedené v (4.30) platí:

$$M_{y,d} = f_{h,1,d} \cdot d \cdot \left[\frac{-b_1^2}{2} + \beta \cdot b_2 \cdot \left(b_1 + \frac{b_2}{2} \right) + \beta \cdot a_2 \cdot \left(b_1 + t_2 - \frac{3 \cdot a_2}{2} \right) - \beta \cdot a_2 \cdot \left(b_1 + t_2 - \frac{a_2}{2} \right) \right] \quad (4.37)$$

$$a_2 = \frac{t_2 - b_2}{2} \quad (4.38)$$

Dosadením (4.30) a (4.38) do (4.37) dostaneme vzťah (4.39).

$$b_2^2 + \frac{\beta}{2} \cdot \frac{4 \cdot t_2 \cdot b_2}{\beta \cdot (2 \cdot \beta + 1)} - \left(\frac{\beta \cdot t_2^2}{4} + \frac{M_{y,d}}{f_{h,1,d} \cdot d} \right) \cdot \frac{4}{\beta \cdot (2 \cdot \beta + 1)} = 0 \quad (4.39)$$

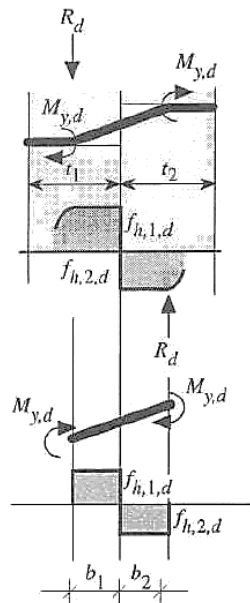
$$b_2 = \frac{-t_2}{2 \cdot \beta + 1} + \sqrt{\frac{t_2^2}{(2 \cdot \beta + 1)^2} + \frac{t_2^2}{2 \cdot \beta + 1} + \frac{4 \cdot M_{y,d}}{f_{h,1,d} \cdot d \cdot \beta \cdot (2 \cdot \beta + 1)}} \quad (4.40)$$

$$R_d = f_{h,1,d} \cdot d \cdot b_2 \quad (4.41)$$

Dosadením vzťahu (4.40) do (4.41) dostaneme vzťah (4.42).

$$R_d = \frac{f_{h,1,d} \cdot d \cdot t_2}{1 + 2 \cdot \beta} + \left[\sqrt{2 \cdot \beta^2 \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (1 + 2 \cdot \beta) \cdot M_{y,d}}{f_{h,1,d} \cdot d \cdot t_2^2}} - \beta \right] \quad (4.42)$$

4.2.3 Mechanizmus zlyhania III



Obrázok 4.11 Mechanizmus zlyhania 3 zdroj [2]

$$M_{y,d} + M_{y,d} = f_{h,1,d} \cdot d \cdot b_1 \cdot \left(b_2 + \frac{b_1}{2} \right) - \beta \cdot f_{h,1,d} \cdot d \cdot \frac{b_2^2}{2} \quad (4.43)$$

$$b_2 = \frac{b_1}{\beta} \quad (4.44)$$

$$b_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot M_{y,d}}{f_{h,1,d} \cdot d}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \quad (4.45)$$

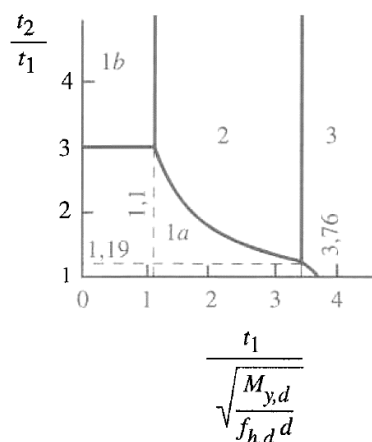
$$R_d = f_{h,1,d} \cdot d \cdot b_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,d} \cdot f_{h,1,d} \cdot d} \quad (4.46)$$

4.3 Zvýšenie únosnosti

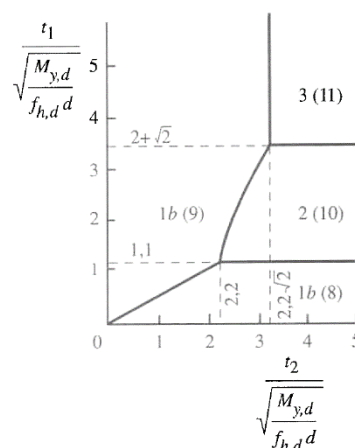
Pri deformácií kolíku účinkom zaťaženia môže pri spojoch s mechanizmom zlyhania II a III dochádzať k osovým silám. K zavedeniu osových síl do kolíkov dochádza prostredníctvom povrchového trenia medzi kolíkom a drevom a tiež kotevným účinkom hlavy klinec alebo podložiek pri svorníkoch. Sila v šikmo orientovanej časti kolíku vykazuje zložku rovnobežnú pri pôsobiacom zaťažení a zvyšuje preto únosnosť. V [2] je tento účinok uvažovaný pre mechanizmy zlyhania II a III zvýšením únosnosti o 10 % oproti hodnotám podľa Johansena. Únosnosť určitého spoja odpovedá najmenej hodnote R_d , ktorá vychádza zo vzťahov pre všetky možné mechanizmy zlyhania. Tento vzťah, z ktorého vychádza najnižšia hodnota, preto tiež udáva mechanizmus zlyhania spoja.

4.3.1 Diagramy podľa Möllera

Möller (1951) znázornil Johansenové vzťahy graficky pre jednostrizné spoje s hodnotou $\beta = 1$. V tomto príspevku je diagram podľa Möllera príslušne upravený, aby zahrňoval o 10 % vyššiu únosnosť pri výskyte mechanizmu zlyhania II poprípade III. Na obrázku 4.12 označuje t_2 väčšiu hrúbku dreva poprípade hĺbku zasahovania kolíku. Podobné diagramy je možné zostrojiť pre iné hodnoty β .



Obrázok 4.12 Upravený diagram Möllera
jednostrizný spoj ($\beta = 1$) zdroj [2]



Obrázok 4.13 Upravený diagram Möllera
dvostrizný spoj ($\beta = 1$) zdroj [2]

4.4 Zvláštne pravidla pre spoj

Pretože smer namáhania sa mení s polohou spojovacieho prostriedku, hodnoty únosnosti na spojovací prostriedok sa neredukujú v závislosti na počte spojovacích prostriedkov. Pre spoje namáhané momentom nie sú v [5] žiadne údaje pre vzdialenosti spojovacích prostriedkov. V tabuľke 4.1 sú uvedené doporučené vzdialenosti, podľa [2], od okrajov a medzi spojovacími prostriedkami, pre rôzne typy spojovacích prostriedkov.

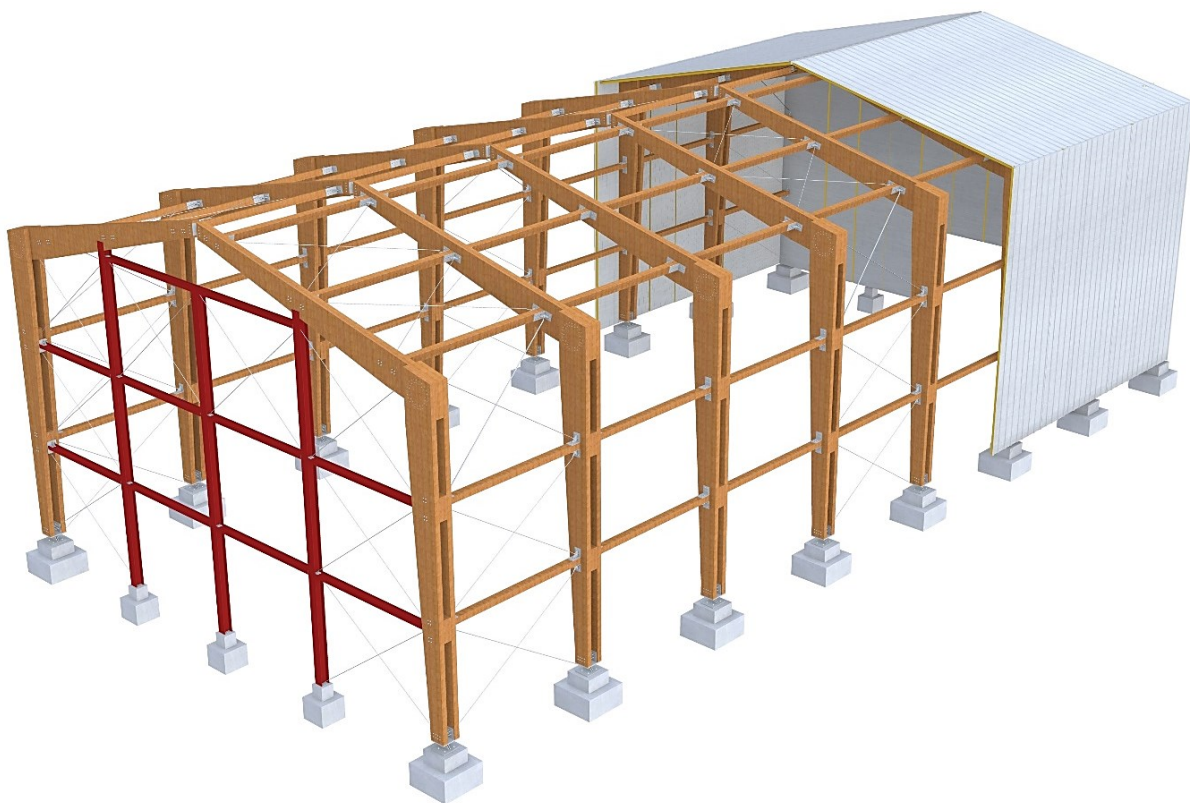
Tabuľka 4.1 Doporučené minimálne vzdialenosti podľa [2]

Vzdialenosť	Svorníky, kolíky	Vkladané hmoždinky	Zalisované hmoždinky
Od konca, namáhaný okraj	$7 \cdot d$	$2 \cdot d_c$	$1,5 \cdot d_c$
Od okrajov	$4 \cdot d$	d_c	d_c
Medzi spojovacími prostriedkami vnútri kruhu popřípade obdlžnikov	$6 \cdot d$	$2 \cdot d_c$	$1,5 \cdot d_c$
Medzi spojovacími prostriedkami medzi kruhmi popřípade obdlžnikov	$5 \cdot d$	$1,5 \cdot d_c$	$1,5 \cdot d_c$

5 Popis objektu

Riešenou konštrukciou bola drevená hala obdĺžnikového pôdorysu 13,00 m x 28,00 m so sedlovou strechou v spáde 13°. Výška stĺpa je 7,50 m a výška vo vrchole haly je 9,00 m. Účel haly bude na športové využitie, konkrétne sa v nej budú nachádzať dve badmintonové ihriská. Využitie a rozmery haly boli navrhnuté podľa [6].

Pre lepšie znázornenie pre čitateľa je v prílohe PI uvedený obrázok s názvoslovím jednotlivých prvkov konštrukcie.



Obrázok 5.1 Vizualizácia haly

5.1 Architektonické a dispozičné riešenie stavby

V tejto časti diplomovej práce je popísané architektonické a dispozičné riešenie haly a situovanie stavby. Hala bola okrem architektonických a dispozičných požiadaviek navrhnutá s ohľadom na statický výpočet a konštrukčné požiadavky, predovšetkým problematiky spojov. Ku práci je navyše priložená, vo výkresovej časti prílohy, časť projektovej dokumentácie stavby.

5.1.1 Situovanie stavby

Badmingtonová hala je situovaná v meste Ostrava-Poruba v časti Pústkovec neďaleko VŠB-TUO FAST. V blízkosti sa nachádza obchodné centrum.



Obrázok 5.2 Situovanie haly

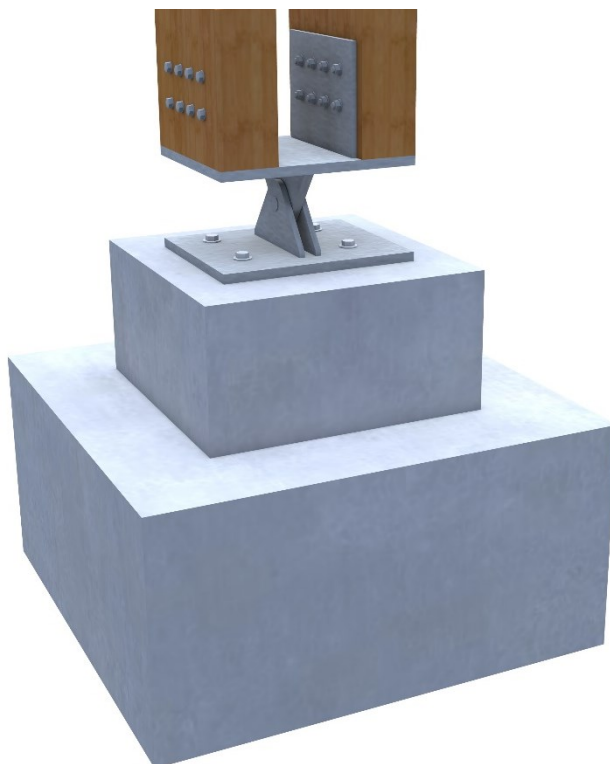
5.2 Konštrukčný systém

Hlavnú nosnú konštrukciu tvorí drevený rám, ktorý sa skladá z priečle a dvoch stojek. Priečla bude drevený profil prierezu v mieste rámového styku 180x700 mm a vo vrchole 180x350 mm dreva triedy GL24h. Dvojica stojek bude z dreva GL24h s prierezom v mieste rámového styku 120x700 mm a v mieste kotvenia 120x350 mm. Konštrukciu haly ďalej tvoria rozperry a stužidlá. Čelné strany haly budú tvorené oceľovou konštrukciou, ktorá sa skladá zo stĺpov, priečnikov a stužidiel. Návrh a posúdenie jednotlivých prvkov sa nachádza v kapitole 13, návrh a posúdenie spojov sa nachádza v kapitole 17.

5.3 Založenie

Objekt bude založený na železobetónových dvojstupňových pätkách. Drevené stojky a oceľové stĺpy budú do týchto pätiiek uchytené pomocou mechanických kotiev.

Predmetom tejto práce nebolo riešiť založenie konštrukcie.

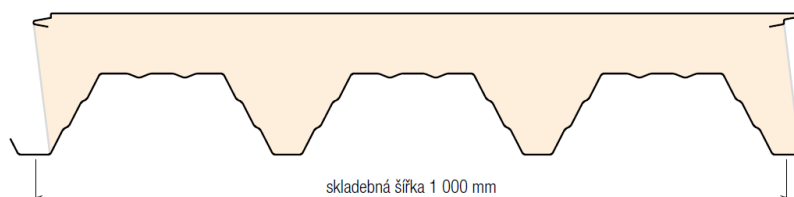


Obrázok 5.3 Vizualizácia záloženia stavby

5.4 Opláštenie haly

5.4.1 Strecha

Na strechu bol navrhnutý strešný panel KS1000X-DEK podľa katalógu [7] (obrázok 5.4). Panel bol navrhnutý ako prostý nosník o rozpone 4,00 m. Šírka v mieste uloženia sa odporúča min. 50 mm, táto podmienka je splnená šírka podpory je v skutočnosti 90 mm.



Obrázok 5.4 Strešný panel [7]

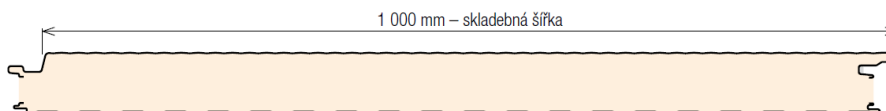
Únosnosť bola určená podľa katalógu [7]. Posúdenie panelu je zobrazené v tabuľke nižšie.

Tabuľka 5.1 Posúdenie strešného panelu

Medzný stav	Druh zat'azenia	Zat'azenie [kN/m ²]	Únosnosť [kN/m ²]	Posudok
MSÚ	Tlak	1,83	4,70	Vyhovuje
	Sanie	1,38	3,33	Vyhovuje
MSP	Tlak	1,22	2,62	Vyhovuje
	Sanie	0,92	2,50	Vyhovuje

5.4.2 Stenový panel

Stena haly bola navrhnutá zo stenového panela KS1000 AWP hr. 120 mm podľa katalógu [7] (obrázok 5.5). Panel bol navrhnutý ako prostý nosník o rozpone 4,00 m. Doporučená šírka v mieste uloženia je 65 mm, táto podmienka je splnená šírka v mieste podpory v skutočnosti je 120 mm.



Obrázok 5.5 Stenový panel [7]

Únosnosť bola určená podľa katalógu [7]. Posúdenie panelu je zobrazené v tabuľke nižšie.

Tabuľka 5.2 Posúdenie stenového panelu

Druh zat'azenia	Zat'azenie [kN/m ²]	Únosnosť [kN/m ²]	Posudok
Tlak	0,98	2,42	Vyhovuje
Sanie	0,59	0,87	Vyhovuje

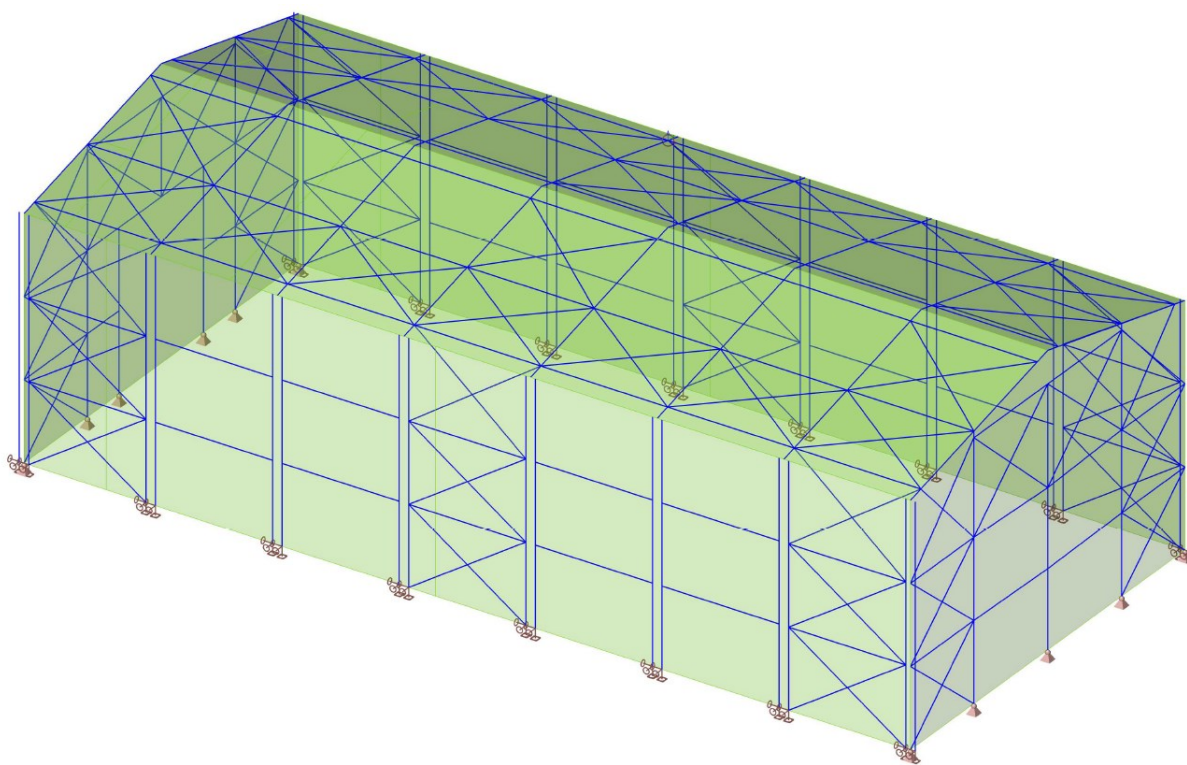
5.5 Povrchová úprava

Všetky drevené prvky budú tlakovo impregnované a natreté 2x lazúrou, odtieň bol zvolený podľa architekta. Oceľové prvky, okrem nerez, budú opatrené protikoróznym náterom, farba zvolená podľa architekta a spojovací materiál bude galvanicky pozinkovaný.

5.6 Výpočtový model v Scia Engineer 17.1

Pre statické posúdenie bol zhotovený prútový model s uvažovaním konštrukčnej a geometrickej nelinearity v programe Scia Engineer 17.1 vid' obrázok 5.6. Konštrukcia bola modelovaná ako prútová, spoje ako kĺbové s uvažovaním modulu posunutia K_u pre medzný stav únosnosti a K_{ser} pre medzný stav použiteľnosti 10. Pre porovnávanie vnútorných síl a vytvorenie grafov v kapitole 9 a 10 bolo nutné vytvoriť ďalší model, ktorý neuvažoval moduly posunutia K_u .

Interakcia modelu s podložíom nebola uvažovaná.



Obrázok 5.6 Axonometrický pohľad

6 Zat'azenie objektu

Hala je namáhaná stálym zat'azením, zat'azením od vetra a snehu. Stanovenie týchto zat'azení bolo prevedené podľa príslušných noriem.

6.1 Zat'azenie stále

6.1.1 Vlastná tiaž

Vlastná tiaž jednotlivých prvkov vo výpočtovom modeli je generovaná automaticky programom Scia Engineer 17.1 s hodnotou gravitačného zrýchlenia $9,81\text{ m/s}^2$. Merná hmotnosť ocele $\rho = 7850\text{ kg/m}^3$ a dreva $\rho_k = 380\text{ kg/m}^3$ [8]. Vlastnou tiažou zvyšných prvkov konštrukcie sa zaoberá kapitola 6.1.2

6.1.2 Ostatné stále zat'azenie

Táto kapitola sa zapodievala stanovením hodnôt ostatných stálych zat'azení ako je tiaž strešného panelu, stenového panelu.

Strecha je tvorená strešným panelom 5.4.1. Steny haly boli navrhnuté zo stenových panelov 5.4.2. Hodnota zat'azenia je udaná v kN/m^2 a v software Scia Engineer 17.1 zadaná na zat'azovací panel.

6.2 Náhodilé zat'azenie

Hala je významne namáhaná od zat'azenia snehom [9], toto zat'azenie vyvoláva extrémne momenty v rámovom rohu. Ďalším typom náhodilého zat'azenia, ktorému je konštrukcia vystavená je zat'azenie vetrom [10].

6.2.1 Úžitné zat'azenie

Podľa normy [8] bolo stanovené úžitné zat'azenie strechy, ktorá spadá do kategórie H nepochôdna. Vzhľadom k tomu, že zat'azenie snehom má vyššiu hodnotu ako zat'azenie strechy kategórie H nie je toto zat'azenie zahrnuté do modelu [8].

6.2.2 Zaťaženie snehom

Zaťaženie snehom bolo vypočítané podľa [9]. Hala sa bude nachádzať v Ostrave 5.1.1. Táto oblasť odpovedá snehovej oblasti č.II. Typ okolitej krajiny je normálny. Roznášacia šírka medzi jednotlivými rámami je 4,00 m. Spočítané zaťaženie bolo následne vnesené na zaťažovací panel.

Snehová oblasť II = $s_k=0,80,0 \text{ kN/m}^2$

Súčiniteľ expozície – typ krajiny normálny $C_e = 1,00$

Sklon strechy $\alpha = 13,00^\circ$

Roznášacia šírka 4,00 m

Zaťaženie snehom pre trvalé/dočasné návrhové situácie:

$$s_{k,1} = \mu_1 \cdot s_k \cdot C_e \cdot C_t \quad (6.1)$$

kde μ_1 je tvarový súčiniteľ

s_k charakteristická hodnota zaťaženia snehom na zemi, podľa [9]

C_e súčiniteľ expozície, doporučene 1,00

C_t tepelný súčiniteľ, doporučene 1,00

Stanovenie tvarového súčiniteľa μ_1

Tabuľka 6.1 Tvarový súčiniteľ

Uhol sklonu strechy α	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1	0,80	$0,80 \cdot (60 - \alpha) / 30$	0
μ_2	$0,80 + 0,80 \cdot \alpha / 30$	1,60	-

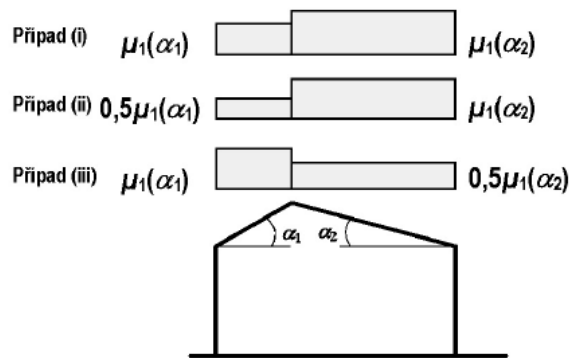
$$\alpha = 13^\circ \rightarrow \mu_1 = 0,80$$

Strecha haly má sedlový tvar. V norme [9] sa na sedlovej streche uvažujú 3 zaťažovacie stavy snehom. Prvý udáva zaťaženie snehom na celej streche (prípád i), druhý (prípád ii) a tretí (prípád iii) uvažuje s plným zaťažením na jednej strane, zatiaľ čo na druhej strane je len polovica snehu, obrázok 6.1.

Výpočet zníženého zaťaženia na jednej polovičke strechy je nasledovný.

$$s_{k,2} = 0,50 \cdot \mu_1 \cdot s_k \cdot C_e \cdot C_t \quad (6.2)$$

$$s_{k,2} = 0,40 \text{ kN/m}^2$$



Obrázok 6.1 Zaťažovacie stavy snehom zdroj [9]

7 Zaťaženie vetrom

Dynamickým zaťažením tlaku od vetra sa označujú tlaky vetra v premennom čase. Premenlivosť sa dá popísať buď deterministicky alebo stochasticky. Príkladom deterministicky popísaného dynamického účinku je oddeľovanie vírov za obtekaným telesom. Stochasticky sa popisujú napr. flukтуаčné zložky rýchlosti vetra. Stavebné konštrukcie reagujú na dynamické účinky vetra hlavne dynamickou odozvou. Nasledujúca kapitola sa zaoberá stanovením zaťaženia vetrom podľa [10].

Eurokód [10] počíta s dynamickou odozvou len pri posúdení použiteľnosti z hľadiska výchylky a zrýchlenia a pri výpočte amplitúd v smere vetra. Stanovuje tiež počet cyklov spôsobených oddeľovaním vírov. V prípade straty aerodynamickej stability typu flutter, divergencie alebo gallopingu sú stanovené len kritické rýchlosti, nie však veľkosti výchyliek. V norme zaťaženie vetrom [10] je dynamický problém riešený predovšetkým na statické riešenie pomocou sústavy viac či menej zložito vyčísliteľných koeficientov.

Na výpočet zaťaženia vetrom bol použitý súbor, ktorý bol naprogramovaný v tabuľkovom programe Excel a Visual Basic autorom diplomovej práce.

7.1 Maximálny dynamický tlak

Má byť stanovený maximálny dynamický tlak $q_p(z)$ vo výške z , ktorý zahrňuje stredné a krátkodobé fluktuácie rýchlosti vetra.

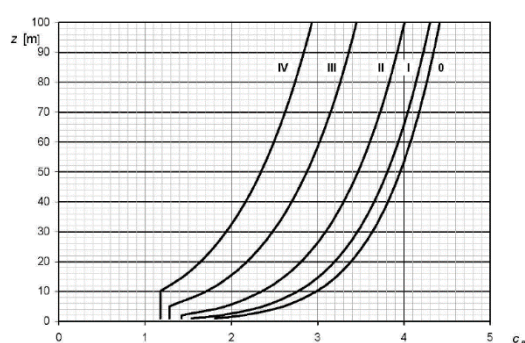
$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) \quad (7.1)$$

kde $I_v(z)$ je intenzita turbulencie vo výške z , podľa 7.1.5

$v_m(z)$ stredná rýchlosť vetra vo výške z , podľa 7.1.2

ρ merná hustota vzduchu, doporučená hodnota $1,25 \text{ kg/m}^3$

q_b je základný dynamický tlak vetra



Obrázok 7.1 Súčiniteľ expozície $c_e(z)$ pre $c_0 = 1,00$ a $k_1 = 1,00$ zdroj [10]

Maximálny dynamický tlak sa dá získať odčítaním hodnoty súčiniteľa expozície z obrázku 7.1 a výpočtu základného dynamického tlaku. Pre presnejšie určenie je nutné určiť intenzitu turbulencie a strednú rýchlosť vetra.

7.1.1 Základná rýchlosť vetra

Základná rýchlosť vetra $v_{b,0}$ je charakteristická desaťminútová stredná rýchlosť vetra, nezávislá na jeho smere a ročnom období vo výške 10 m nad zemou, v teréne bez prekážok s nízkou vegetáciou ako je tráva a izolované prekážky, vzdialené od seba najmenej 20 násobok výšky prekážky. Riešená konštrukcia sa nachádza vo veternej oblasti 2 [10].

$$v_b = c_{\text{dir}} \cdot c_{\text{season}} \cdot v_{b,0} \quad (7.2)$$

kde v_b je základná rýchlosť vetra, definovaná ako funkcia smeru vetru a ročného obdobia

$v_{b,0}$ východzia hodnota rýchlosti vetra, $v_{b,0} = 25,00 \text{ m/s}$ (Ostrava)

c_{dir} súčiniteľ smeru vetra, $c_{\text{dir}} = 1,00$ doporučená hodnota

c_{season} súčiniteľ ročného obdobia, $c_{\text{season}} = 1,00$ doporučená hodnota

7.1.2 Stredná rýchlosť vetra

Stredná rýchlosť vetra $v_m(z)$ vo výške z nad terénom závisí na drsnosti terénu, orografii a základnou rýchlosťou vetra v_b .

$$v_m = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b \quad (7.3)$$

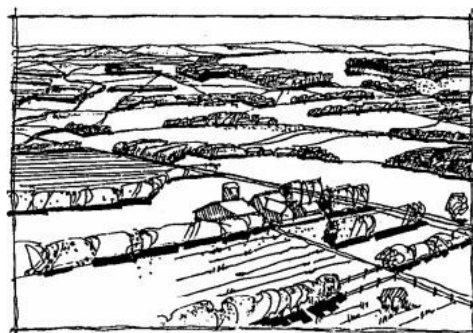
kde $c_r(z)$ je súčiniteľ drsnosti terénu, podľa 7.1.3

$c_o(z)$ súčiniteľ orografie, podľa 7.1.4

v_b základná rýchlosť vetra, podľa 7.1.1

7.1.3 Drsnosť terénu

Drsnosť terénu je rozdelená do piatich kategórií, od morských oblastí po oblasti s hustou zástavbou. Hala je zatriedená do oblasti II. Súčiniteľ drsnosti terénu $c_r(z)$ vyjadruje zmenu strednej rýchlosti vetra v mieste konštrukcie spôsobenou výškou nad úrovňou terénu a drsnosti povrchu terénu na náveternej strane konštrukcie pre uvažovaný smer vetra. Doporučený postup pre jeho stanovenie je založený na logaritmickom profile rýchlosti.



Obrázok 7.2 Kategória terénu, ilustrácia zdroj [10]

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \text{ pre } z_{\min} \leq z \leq z_{\max} \quad (7.4)$$

$$c_r(z) = c_r(z_{\min}) \text{ pre } z \leq z_{\min} \quad (7.5)$$

kde k_r je súčiniteľ terénu, ktorý závisí na uvažovanom parametre drsnosti terénu z_0 vypočítava sa podľa vzťahu (7.6)

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} \quad (7.6)$$

kde $z_{0,II}$ je parameter drsnosti terénu, $z_{0,II}=0,05$ (kategória terénu II)

7.1.4 Orografia

Pre tento typ terénu nie je potrebné počítať vplyv orografie. Súčiniteľ orografie $c_o(z) = 1,00$ [10].

7.1.5 Turbolencia vetra

Intenzita turbolencie je definovaná ako podiel smerodajnej odchýlky turbolencie a strednej rýchlosti vetra.

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{k_I}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \text{ pre } z_{\min} \leq z \leq z_{\max} \quad (7.7)$$

$$I_v(z) = I_v(z_{\min}) \text{ pre } z \leq z_{\min} \quad (7.8)$$

kde k_I je súčiniteľ turbolencie, $k_I=1,00$ (doporučená hodnota)

$c_0(z)$ súčiniteľ orografie definovaný v 7.1.4

z_0 parameter drsnosti terénu, uvedený v 7.1.3

7.2 Výsledný maximálny dynamický tlak

Maximálny dynamický tlak bol stanovený pre konštantnú výšku. Konštrukcia bola zaradená do kategórie terénu II a veternej oblasti II s východnou základnou rýchlosťou vetra $v_{b,0}$ 25,00 m/s. Pri výpočte nebolo nutné zohľadňovať vplyv orografie.

Tabuľka 7.1 Výsledná hodnota maximálneho dynamického tlaku

v_b	z	$c_r(z)$	$v_m(z)$	$I_v(z)$	$c_e(z)$	$q_p(z)$
[m/s]	[m]	[-]	[m/s]	[-]	[-]	[kg/m·s ²]
25,00	10,00	1,01	25,17	0,189	2,36	0,92

7.3 Súčiniteľ konštrukcie

Súčiniteľ konštrukcie $c_s c_d$ má vziať do úvahy účinok zaťaženia vetrom pri nesúčasnom výskyte maximálnych tlakov vetra na povrchu konštrukcie (c_s) spoločne s účinkom kmitania konštrukcie vyvolaného turbulenciou (c_d). V národnej prílohe NA.2.20 [10] sa odporúča tento súčiniteľ nerozdeľovať. Na rozdiel od výpočtu účinku síl od vetra sa súčiniteľ konštrukcie nepočíta na jednotlivé segmenty, ale pre celú konštrukciu.

Pre konštrukcie do určitých rozmerových obmedzení sa dá súčiniteľ konštrukcie $c_s c_d$ stanoviť hodnotou 1,0. Jedná sa hlavne o pozemné stavby nižšie než 15 m a o pozemné stavby s rámovou konštrukciou nižšou než 100 m a výškou nepresahujúcou 4. násobok šírky, určité typy komínov, prvky fasád a strechy. Pre inžinierske stavby sa má súčiniteľ konštrukcie stanoviť podľa vzťahov uvedených v [10]. Hala spĺňa kritéria pre zjednodušené určenie súčiniteľa konštrukcie, ktorý bol stanovený na hodnotu $c_s c_d = 1,00$.

7.4 Tlaky vetra na povrchy

Tlak w_e , pôsobiaci na vonkajšie povrchy konštrukcie, sa získa z výrazu .

$$w_e = q_p(Z_e) \cdot c_{pe} \quad (7.9)$$

kde $q_p(Z_e)$ je maximálny dynamický tlak, tlak $q_p(z)$ je definovaný v (7.1)

z_e referenčná výška pre vonkajší tlak podľa [10]

c_{pe} súčiniteľ vonkajšieho tlaku podľa [10]

Tlak w_e , pôsobiaci na vonkajšie povrchy konštrukcie, sa získa z výrazu .

$$w_e = q_p(Z_i) \cdot c_{pi} \quad (7.10)$$

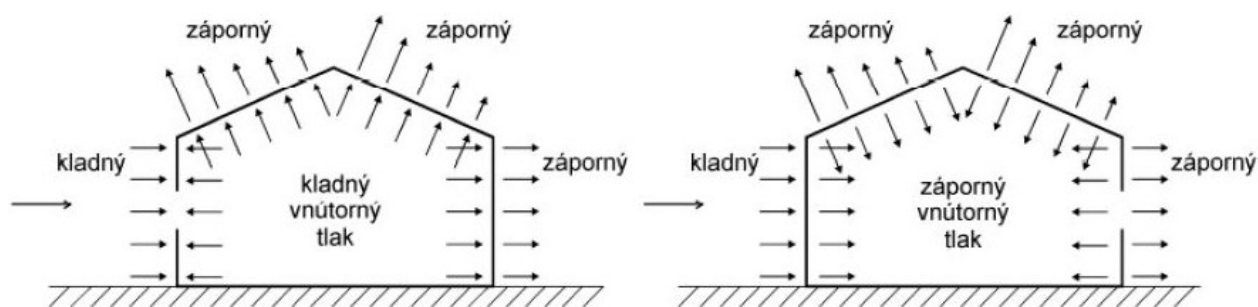
kde $q_p(Z_i)$ je maximálny dynamický tlak, tlak $q_p(z)$ je definovaný v (7.1)

z_i referenčná výška pre vnútorný tlak podľa [10]

c_{pi} súčiniteľ vnútorného tlaku podľa [10]

Výsledný tlak vetra na stenu, strechu alebo prvok je rozdiel medzi tlakmi na opačných povrchoch (7.11), uvažovaný s ohľadom na ich znamienka. Dynamický tlak, pôsobiaci smerom k povrchu, sa uvažuje ako kladný, a sanie pôsobiace smerom od povrchu, ako záporný. Príklady sú uvedené na obrázku 7.3 .

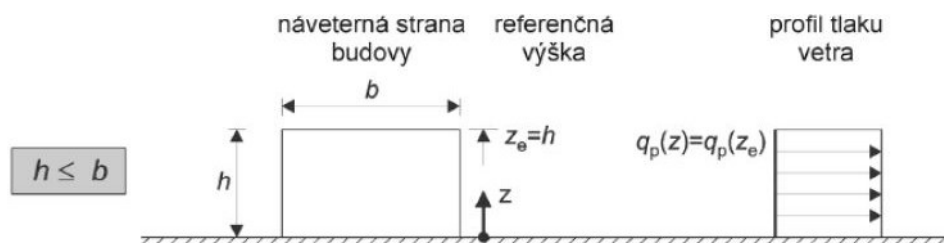
$$w = w_e + w_i \quad (7.11)$$



Obrázok 7.3 Dynamický tlak na povrchy zdroj [10]

7.4.1 Zvislé steny pozemných stavieb s pravouhlým pôdorysom

Referenčné výšky z_e pre náveterné steny pozemných stavieb s pravouhlým pôdorysom závisí na pomere strán h/b a výške odpovedajúcej hornému okraju príslušnej časti steny [10]. Pozemné stavby, ich výška h je menšia než b sa majú uvažovať ako jedna časť obrázok 7.4.



Obrázok 7.4 Referenčná výška z_e , závislá na h a b , a odpovedajúci profil dynamického tlaku zdroj [10]

7.4.2 Výsledné hodnoty súčiniteľov tlakov pre pozemné stavby

Podľa [10] boli stanovené súčinitele tlakov zobrazené v tabuľke 7.2 a tabuľke 7.3.

Tabuľka 7.2 Súčinitele vonkajšieho tlaku vetra pre $c_{pe,10}$ pre priečny vietor

Priečny vietor				
Zvislé steny		Strešné plochy		
oblasť	[-]	oblasť	[-]	[-]
			sanie	tlak
A	-1,20	F	-1,06	0,16
B	-1,22	G	-0,88	0,16
C	-0,50	H	-0,36	0,16
D	0,77	I	-0,44	-0,12
E	-0,44	J	-0,76	-0,12

Tabuľka 7.3 Súčinitele vonkajšieho tlaku vetra pre $c_{pe,10}$ pre pozdĺžny vietor

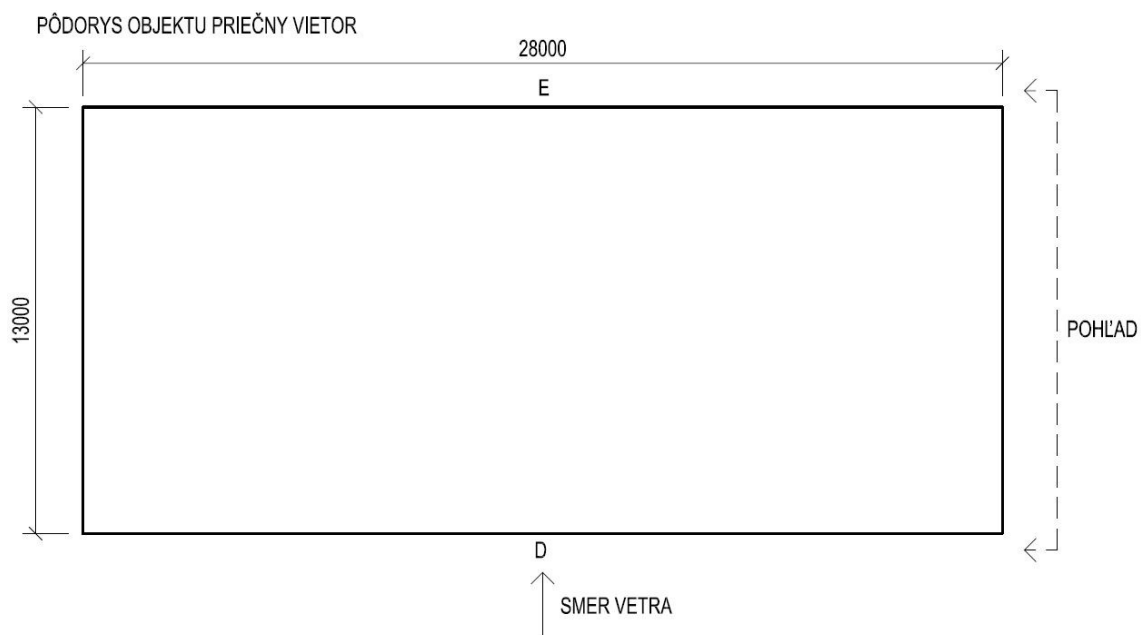
Pozdĺžny vietor				
Zvislé steny		Strešné plochy		
oblasť	[-]	oblasť	[-]	[-]
			sanie	tlak
A	-1,20	F	-1,36	-
B	-0,89	G	-1,30	-
C	-0,50	H	-0,62	-
D	0,71	I	-0,52	-
E	-0,33			

7.5 Rozdelenie na oblasti

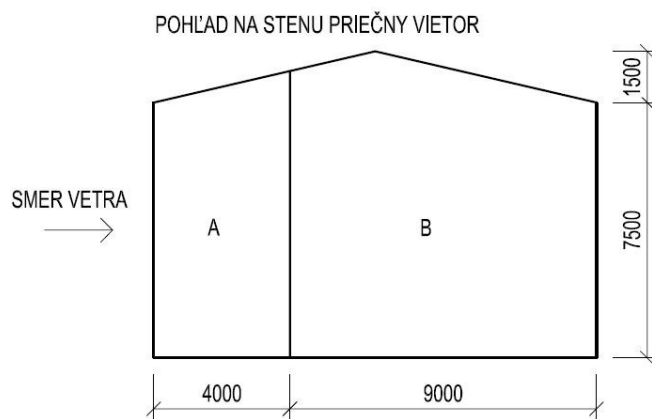
Hala má nasledovné rozmery rozpon haly $b = 13,00$ m, dĺžka haly $l = 28,00$ m, výška steny $h_s = 7,50$ m a výška haly v hrebeni $h = 9,00$ m. Podľa [10] bola hala rozdelená do nasledovných oblastí podľa smeru pôsobenia vetra.

7.5.1 Rozdelenie na oblasti, priečny vietor

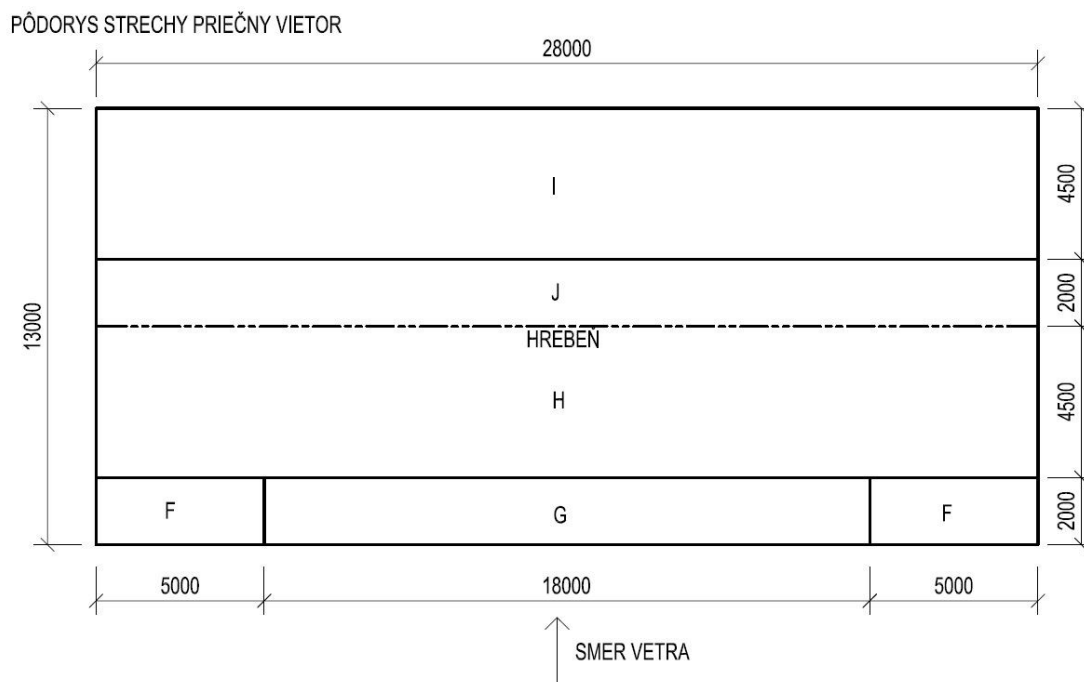
Na obrázku 7.5 a obrázku 7.6 je zobrazené rozdelenie stien haly a na obrázku 7.7 sú zobrazené oblasti pre strechu pre priečny vietor.



Obrázok 7.5 Pôdorys objektu, priečny vietor



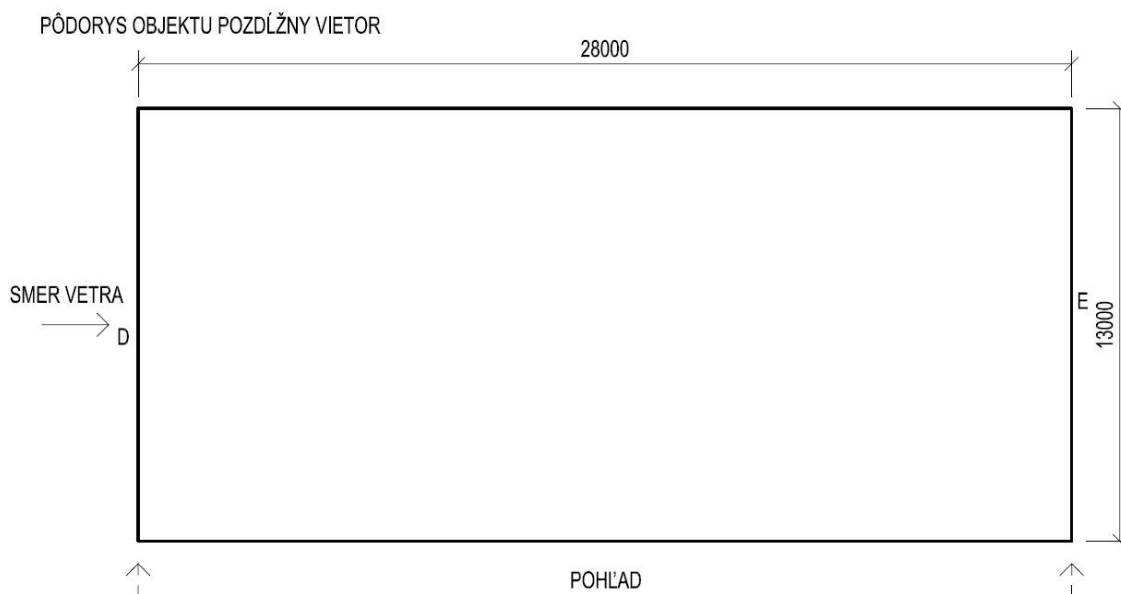
Obrázok 7.6 Pohľad na stenu, priečny vietor



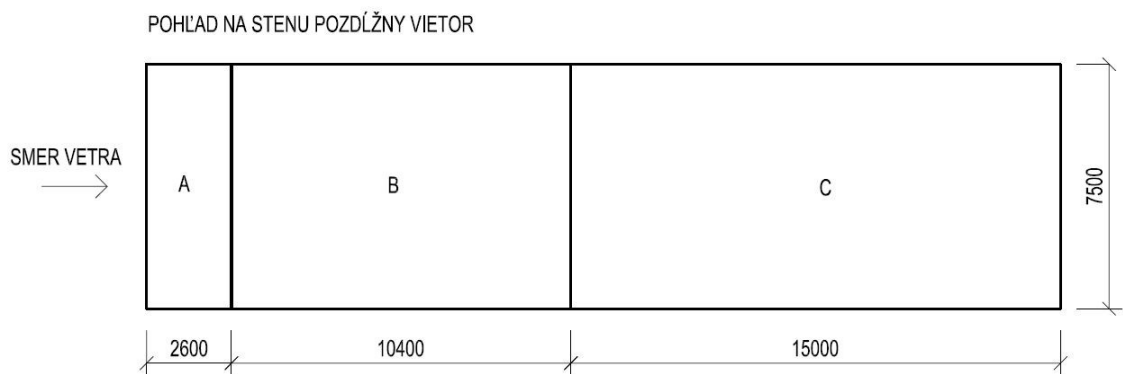
Obrázok 7.7 Pôdorys strechy, priečny vietor

7.5.2 Rozdelenie na oblasti, pozdĺžny vietor

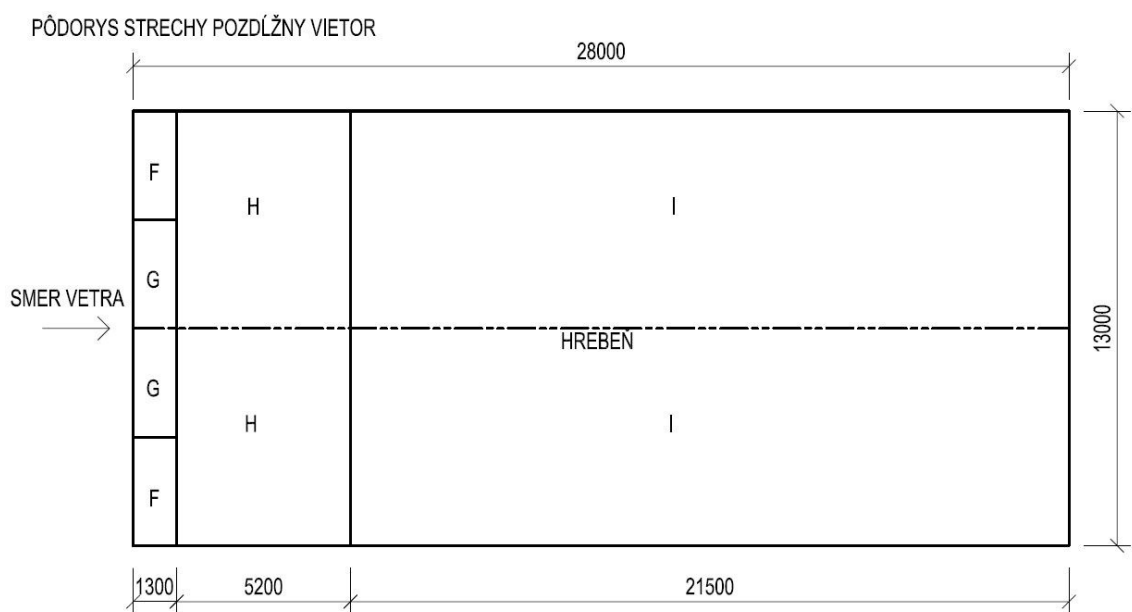
Na obrázku 7.8 a obrázku 7.9 je zobrazené rozdelenie stien haly a na obrázku 7.10 sú zobrazené oblasti pre strechu pre priečny vietor.



Obrázok 7.8 Pôdorys objektu, pozdĺžny vietor



Obrázok 7.9 Pohľad na stenu, pozdĺžny vietor



Obrázok 7.10 Pôdorys strechy, pozdĺžny vietor

7.6 Výsledné hodnoty zaťaženia vetrom na steny a strechu

V nasledujúcich tabuľkách 7.4 až 7.7 sú zobrazené výsledné hodnoty zaťaženia vetrom pôsobiace na jednotlivé oblasti konštrukcie.

Tabuľka 7.4 Výsledné hodnoty zaťaženia priečnym vetrom pre $c_{pi} = +0,2$

Priečny vietor				
Zvislé steny		Strešné plochy		
oblasť	kN/m ²	oblasť	kN/m ²	kN/m ²
			sanie	tlak
A	-1,29	F	-1,16	-0,04
B	-1,30	G	-0,99	-0,04
C	-0,64	H	-0,51	-0,04
D	0,52	I	-0,59	-0,29
E	-0,59	J	-0,88	-0,29

Tabuľka 7.5 Výsledné hodnoty zaťaženia pozdĺžnym vetrom pre $c_{pi} = +0,2$

Pozdĺžny vietor				
Zvislé steny		Strešné plochy		
Oblasť	kN/m ²	Oblasť	kN/m ²	kN/m ²
	-		-	+
A	-1,29	F	-1,43	-
B	-1,00	G	-1,38	-
C	-0,64	H	-0,75	-
D	0,47	I	-0,66	-
E	-0,49			

Tabuľka 7.6 Výsledné hodnoty zaťaženia priečnym vetrom pre $c_{pi} = -0,3$

Priečny vietor				
Zvislé steny		Strešné plochy		
oblasť	kN/m ²	oblasť	kN/m ²	kN/m ²
			sanie	tlak
A	-0,83	F	-0,70	0,42
B	-0,84	G	-0,53	0,42
C	-0,18	H	-0,06	0,42
D	0,98	I	-0,13	0,17
E	-0,13	J	-0,42	0,17

Tabuľka 7.7 Výsledné hodnoty zaťaženia pozdĺžnym vetrom pre $c_{pi} = -0,3$

Pozdĺžny vietor				
Zvislé steny		Strešné plochy		
oblasť	kN/m ²	oblasť	kN/m ²	kN/m ²
			sanie	tlak
A	-0,83	F	-0,97	-
B	-0,54	G	-0,92	-
C	-0,18	H	-0,29	-
D	0,93	I	-0,20	-
E	-0,03			

7.7 Zaťažovacie stavy od vetra

Podľa normy [10] bolo zostavených celkom 10 kombinácií od zaťaženia vetrom. V nasledujúcich tabuľkách sú zobrazené možné kombinácie.

Tabuľka 7.8 Priečny vietor 0,2 ++ ++

Priečny vietor		
$C_{pi} = +0,2$ ++ ++		
F	-0,04	kN/m ²
G	-0,04	kN/m ²
H	-0,04	kN/m ²
I	-0,29	kN/m ²
J	-0,29	kN/m ²

Tabuľka 7.9 Priečny vietor 0,2 -- --

Priečny vietor		
$C_{pi} = +0,2$ -- --		
F	-1,16	kN/m ²
G	-0,99	kN/m ²
H	-0,51	kN/m ²
I	-0,59	kN/m ²
J	-0,88	kN/m ²

Tabuľka 7.10 Priečny vietor 0,2 ++ --

Priečny vietor		
$C_{pi} = +0,2 \text{ ++ --}$		
F	-0,04	kN/m ²
G	-0,04	kN/m ²
H	-0,04	kN/m ²
I	-0,59	kN/m ²
J	-0,88	kN/m ²

Tabuľka 7.11 Priečny vietor 0,2 -- ++

Priečny vietor		
$C_{pi} = +0,2 \text{ -- ++}$		
F	-1,16	kN/m ²
G	-0,99	kN/m ²
H	-0,51	kN/m ²
I	-0,29	kN/m ²
J	-0,29	kN/m ²

Tabuľka 7.12 Priečny vietor -0,3 ++ ++

Priečny vietor		
$C_{pi} = -0,3 \text{ ++ ++}$		
F	0,42	kN/m ²
G	0,42	kN/m ²
H	0,42	kN/m ²
I	0,17	kN/m ²
J	0,17	kN/m ²

Tabuľka 7.13 Priečny vietor -0,3 -- --

Priečny vietor		
$C_{pi} = -0,3 \text{ -- --}$		
F	-0,70	kN/m ²
G	-0,53	kN/m ²
H	-0,06	kN/m ²
I	-0,13	kN/m ²
J	-0,42	kN/m ²

Tabuľka 7.14 Priečny vietor -0,3 ++ --

Priečny vietor		
$C_{pi} = -0,3 \text{ ++ --}$		
F	0,42	kN/m ²
G	0,42	kN/m ²
H	0,42	kN/m ²
I	-0,13	kN/m ²
J	-0,42	kN/m ²

Tabuľka 7.15 Priečny vietor -0,3 -- ++

Priečny vietor		
$C_{pi} = -0,3 \text{ -- ++}$		
F	-0,70	kN/m ²
G	-0,53	kN/m ²
H	-0,06	kN/m ²
I	0,17	kN/m ²
J	0,17	kN/m ²

Tabuľka 7.16 Pozdĺžny vietor 0,2

Pozdĺžny vietor		
$C_{pi} = +0,2$		
F	-1,43	kN/m ²
G	-1,38	kN/m ²
H	-0,75	kN/m ²
I	-0,66	kN/m ²

Tabuľka 7.17 Pozdĺžny vietor -0,3

Pozdĺžny vietor		
$C_{pi} = -0,3$		
F	-0,97	kN/m ²
G	-0,92	kN/m ²
H	-0,29	kN/m ²
I	-0,20	kN/m ²

8 Zat'azovacie stavy

Pre posúdenie medzného stavu únosnosti a medzného stavu použiteľnosti boli použité nasledujúce zat'azovacie stavy:

Tabuľka 8.1 zat'azovacie stavy

Meno	Značka	Popis	Typ pôsobenia	Doba pôsobenia	Skupina zat'azenia
ZS1	G_0	Vlastná tiaž	Stále	-	SZ1
ZS2	G_1	Ostatné stále zat'azenie	Stále	-	SZ1
ZS3	S_F	Sneh na celej streche	Premenné	Krátkodobé	Sneh
ZS4	S_p	Sneh na pravej polovici	Premenné	Krátkodobé	Sneh
ZS5	S_L	Sneh na ľavej polovici	Premenné	Krátkodobé	Sneh
ZS6	$W_{p2+ + +}$	Priečny vietor +0,2 ++ ++	Premenné	Krátkodobé	Vietor
ZS7	$W_{p2+ +- -}$	Priečny vietor +0,2 ++ --	Premenné	Krátkodobé	Vietor
ZS8	$W_{p2- - - -}$	Priečny vietor +0,2 -- --	Premenné	Krátkodobé	Vietor
ZS9	$W_{p2- - + +}$	Priečny vietor +0,2 -- ++	Premenné	Krátkodobé	Vietor
ZS10	$W_{p3+ + +}$	Priečny vietor -0,3 ++ ++	Premenné	Krátkodobé	Vietor
ZS11	$W_{p3+ +- -}$	Priečny vietor -0,3 ++ --	Premenné	Krátkodobé	Vietor
ZS12	$W_{p3- - - -}$	Priečny vietor -0,3 -- --	Premenné	Krátkodobé	Vietor
ZS13	$W_{p3- - + +}$	Priečny vietor -0,3 -- ++	Premenné	Krátkodobé	Vietor
ZS14	W_{pv2}	Pozdĺžny vietor +0,2	Premenné	Krátkodobé	Vietor
ZS15	W_{pv3}	Pozdĺžny vietor -0,3	Premenné	Krátkodobé	Vietor

Tabuľka 8.2 Vzťah zat'azovacích stavov

Meno	Typ zat'azenia	Vzt'ah
SZ1	Stále	-
Sneh	Sneh	Výberové
Vietor	Vietor	Výberové

8.1 Kombinácie zaťažovacích stavov

Návrhová hodnota účinku zaťaženia sa musí pre každý rozhodujúci zaťažovací stav stanoviť prostredníctvom kombinácie zaťaženia, ktoré sa môže vyskytnúť súčasne. Kombinácie zaťažovacích stavov sú zostavené podľa Eurokódu [8].

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (8.1)$$

kde $\gamma_{G,j}$ je dielčí súčiniteľ j – tého stáleho zaťaženia

$G_{k,j}$ charakteristická hodnota j – tého stáleho zaťaženia

$\gamma_{Q,1}$ dielčí súčiniteľ i – tého stáleho zaťaženia

$Q_{k,1}$ charakteristická hodnota hlavného premenného zaťaženia

$Q_{k,i}$ charakteristická hodnota i – tého premenného zaťaženia

$\psi_{0,i}$ súčiniteľ pre kombinačnú hodnotu i – tého premenného zaťaženia

8.1.1 Lineárna kombinácia

Bola vytvorená 1 kombinačná skupina (CO1) typu EN MSÚ (STR/GEO) Sada B, ktorá po rozložení na lineárne kombinácie obsahovala 174 kombinácií.

8.1.2 Nelineárna kombinácia

Nelineárne kombinácie boli prevzaté z lineárnych kombinácií v počte 174. Z dôvodu veľkého počtu kombinácií zaťažovacích stavov je zmienená vždy len rozhodujúca kombinácia pri daných posudkoch. Zoznam všetkých kombinácií sa nachádza v prílohe PII.

9 Analýza výsledkov

Táto kapitola diplomovej práce sa zaoberala porovnávaním výsledkov z dvoch modelov. Prvý model bol vymodelovaný bez zadáných tuhostí spojov (bez posunutí) a druhý so zadanými tuhosťami (s posunutiami). Oba tieto modely boli spočítané nelineárnym výpočtom, s uvažovaním konštrukčnej a geometrickej nelinearity výpočtovou metódou Newton-Raphson. Vzhľadom k tomu, že hlavná nosná konštrukcia haly je rám, ktorý sa skladá z priečle a stojky, boli predmetom porovnávania tieto prvky. Výsledky boli zhrnuté do tabuľky 9.1 a tabuľky 9.2. Zo získaných výsledkov boli vytvorené porovnávacie grafy 9.1 a 9.2.

Na základe vypočítaných hodnôt je možné skonštatovať, že maximálny rozdiel vnútorných síl v priečle a to konkrétne ohybového momentu je 4,83 %.

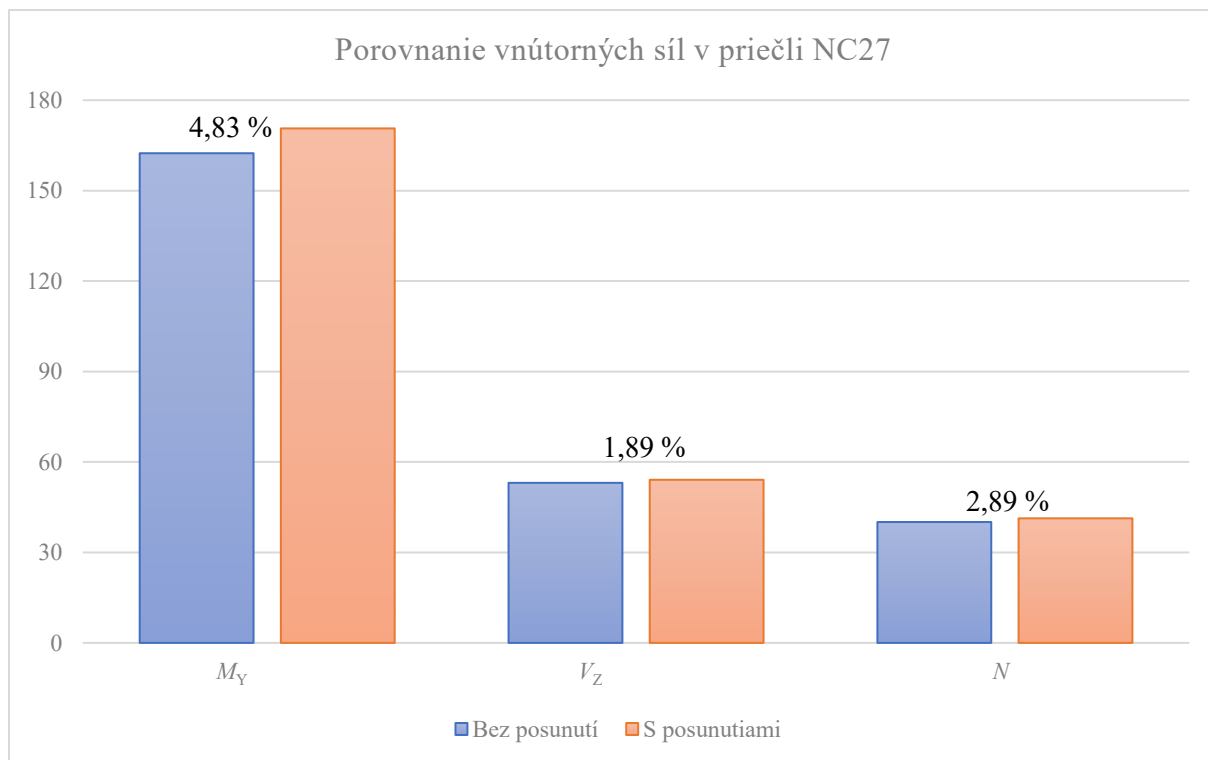
V prílohe PIII sa nachádzajú obrázky priebehov vnútorných síl jednotlivých prvkov konštrukcie.

Tabuľka 9.1 Nelineárny výpočet bez posunutí

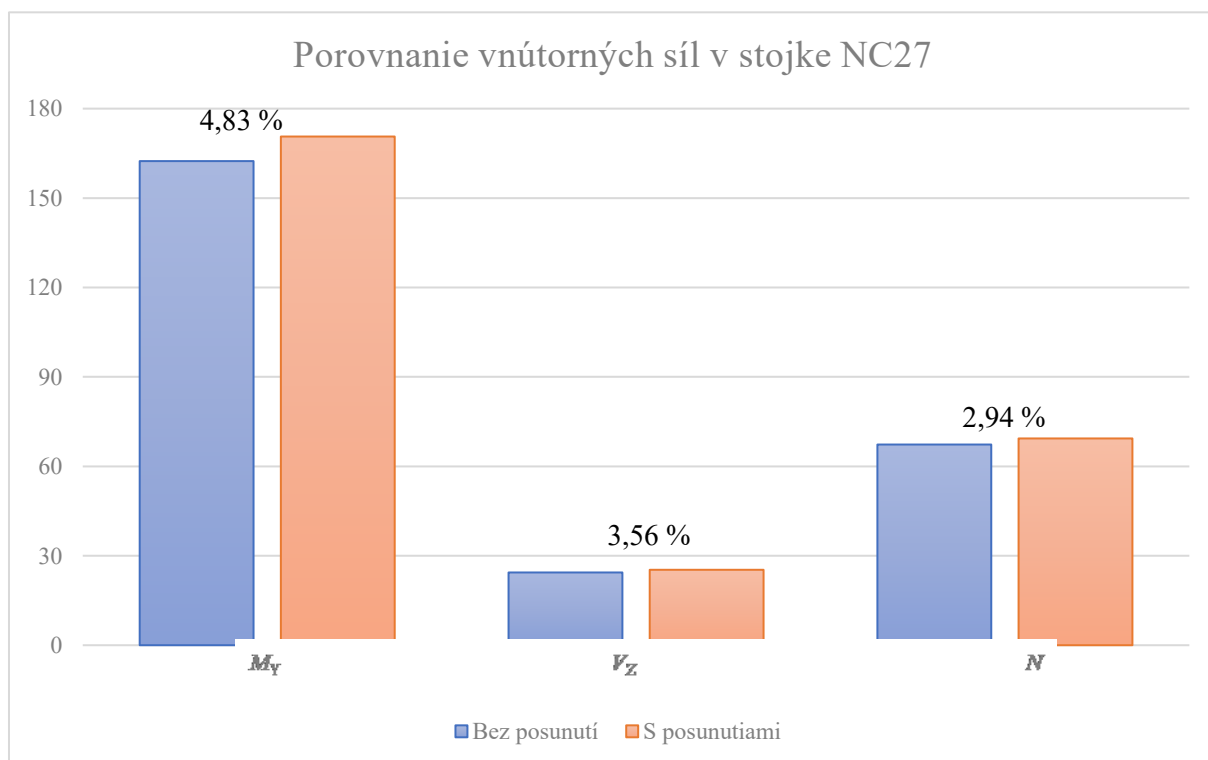
Nelineárny výpočet bez posunutí				
Priečla				
	Kombinácia	N [kN]	V_z [kN]	M_y [kNm]
max M_y/V_z	NC27	-40,09	53,08	-162,40
max N	NC113	-59,20	38,42	-76,75
Stojka				
max M_y/V_z	NC27	-67,32	-24,40	-162,40
max N	NC116	-140,82	-17,10	-47,24

Tabuľka 9.2 Nelineárny výpočet s posunutiami

Nelineárny výpočet s posunutiami				
Priečla				
	Kombinácia	N [kN]	V_z [kN]	M_y [kNm]
max M_y/V_z	NC27	-41,31	54,10	-170,64
max N	NC113	-61,53	38,21	-74,81
Stojka				
max M_y/V_z	NC27	-69,36	-25,30	-170,64
max N	NC116	-144,82	-15,02	-44,58



Graf 9.1 Porovnanie vnútorných síl v priečli NC27



Graf 9.2 Porovanie vnútorných síl v stojke NC27

10 Výpočet translačnej a rotačnej tuhosti

Pre výpočet vnútorných síl je dôležité správne vystihnúť tuhosť prípojev. Hlavnou charakteristikou tuhosti spoja drevených konštrukcií je modul posunutia K_{ser} , táto hodnota vyjadruje posun spojovacieho prostriedku od danej šmykovej sily v strihovej ploche a osovej sily. Torzná pružinová tuhosť K_r vyjadruje pootočené od momentu. Pre analýzu globálneho modelu boli tieto moduly posunutia K_{ser} , K_r spočítané podľa [5].

10.1 Výpočet translačnej tuhosti

Pre jeden strih priečne namáhanej skrutky, svorníka platí vzťah.

$$K_{ser} = \frac{\rho_m^{1,5} \cdot d}{23} \quad (10.1)$$

kde ρ_m je priemerná hustota spojovaného dreveného prvku uvedená v 12.2.1
 d priemer spojovacieho prostriedku

Norma [5] povoľuje pre spoj oceľ - drevo zdvojnásobiť hodnotu K_{ser} .

Pre osovo namáhané skrutky platí vzťah.

$$K_{ser} = 780 \cdot d^{0,2} \cdot l_{ef}^{0,4} \quad (10.2)$$

kde l_e je účinná dĺžka vniku skrutky podľa (15.19)
 d priemer skrutky

Návrhová hodnota modulu posunutia sa vypočíta.

$$K_u = \frac{2}{3} \cdot K_{ser} \quad (10.3)$$

Translačná tuhosť spoja je daná súčtom modulov preklížnutia jednotlivých spojovacích prostriedkov. Pre dvojstrižný spoj s n spojovacími prostriedkami v MSÚ platí vzťah.

$$K_{t,u} = 2 \cdot n \cdot K_u \quad (10.4)$$

kde n je počet spojovacích prostriedkov
 K_u translačná tuhosť spojovacieho prostriedku (10.3)

10.2 Výpočet rotačnej tuhosti

Výpočet torznej pružinovej tuhosti K_r poddajného spoja sa dá stanoviť pomocou modulu prekláznutia spojovacieho prostriedku v MSÚ K_u , poprípade modulu prekláznutia spojovacieho prostriedku v MSP K_{ser} podľa vzťahu.

$$K_{r,u} = \sum_{i=1}^n K_u \cdot r_i^2 \text{ resp } K_{r,ser} = \sum_{i=1}^n K_{ser} \cdot r_i^2 \quad (10.5)$$

kde K_u, K_{ser} je modul prekláznutia v MSÚ, MSP (10.2) (10.3)

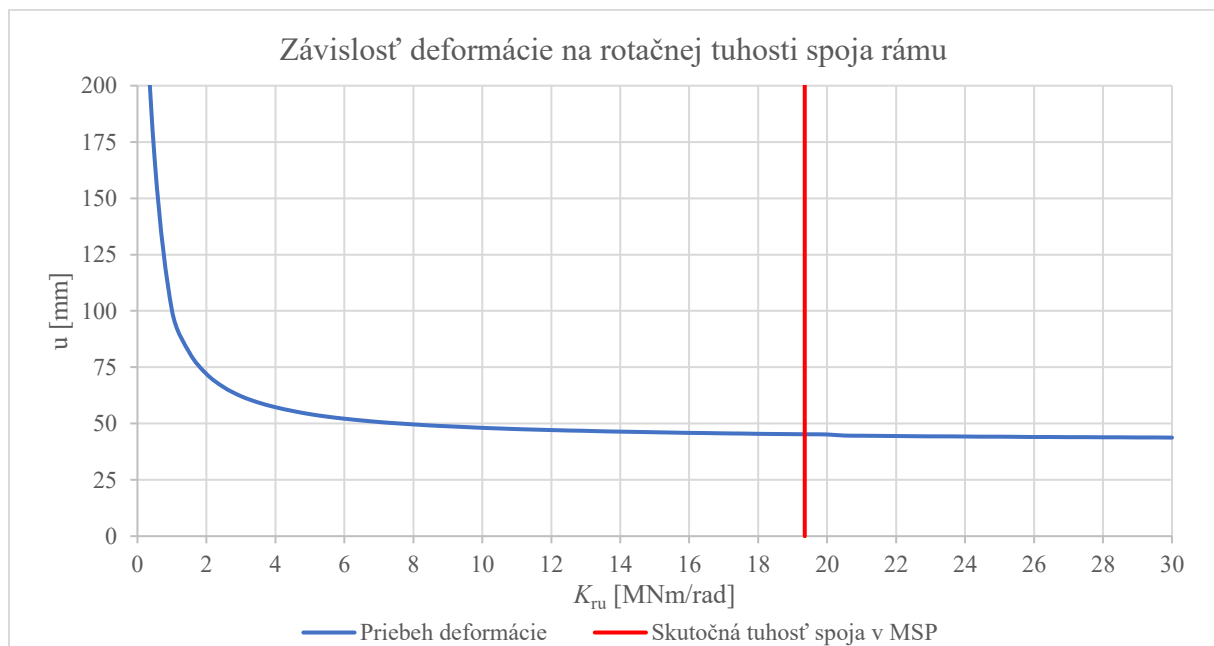
Pre torznú pružinovú tuhosť dvojstrižného spoja s n rovnakými spojovacími prostriedkami v MSÚ teda platí vzťah (analogicky sa dá vypočítať aj v MSP)

$$K_{r,u} = 2 \cdot (K_u \cdot r_1^2 + K_u \cdot r_2^2 + K_u \cdot r_3^2 + \dots K_u \cdot r_n^2) \quad (10.6)$$

Pre konštrukciu bol zhotovený graf 10.1, ktorý znázorňuje závislosť rotačnej tuhosti na vodorovnom posune vo vrchole stĺpa. Tento graf bol vytvorený z charakteristickej kombinácie CO27 s charakteristickými hodnotami zaťaženia tuhostí spojov. Z grafu 10.1 je zrejmé, že tuhosť spoja je dostatočne veľká na to aby jeho prípadný pokles tuhosti spoja vyvolal nadmerné deformácie.

Obsah kombinácie:

$$CO27 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS3 \cdot 1,50 + ZS10 \cdot 0,90$$

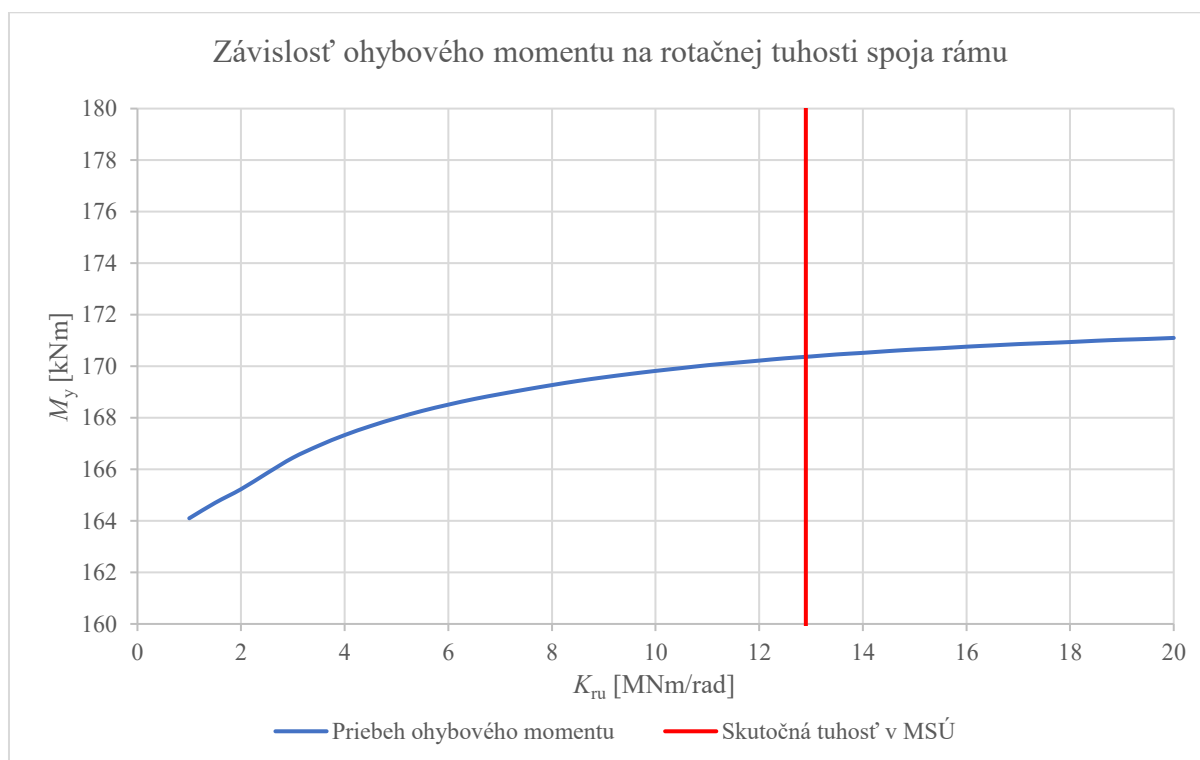


Graf 10.1 Závislosť deformácie na rotačnej tuhosti spoja rámu

Na nasledujúcom grafe je znázornený priebeh ohybového momentu v priečli v závislosti na rotačnej tuhosti spoja rámového rohu. Z grafu 10.2 je zrejmé, že tuhosť spoja je dostatočne veľká na to aby jeho prípadný pokles rotačnej tuhosti alebo naopak rast (novo zhotovený spoj má vyššiu tuhosť) nijak výrazne neovplyvnil prerozdelenie vnútorných síl. Rozdiel medzi tuhosťou 20 MNm/rad a 1 MNm/rad je 4,09 %, čo je pomerne zanedbateľný rozdiel pre návrh konštrukcie. Graf bol vytvorený s návrhovými hodnotami zaťaženia a tuhosťami spojov pre kombináciu NC27.

Obsah kombinácie:

$$NC27 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS3 \cdot 1,50 + ZS10 \cdot 0,90$$



Graf 10.2 Závislosť ohybového momentu na rotačnej tuhosti spoja rámu

Z predošlých grafov tiež vyplýva fakt, že konštrukcií stačí pomerne malá rotačná tuhosť 4 MNm/rad na to aby bola stabilná.

10.3 Vypočítané hodnoty tuhostí spojov

Pred samotným navrhovaním a posudzovaním prvkov a spojov drevených konštrukcií je dôležité vystihnúť tuhosti prípojov kvôli prerozdeleniu vnútorných síl. Vypočítanie týchto tuhostí prebiehalo nasledovne. Najskôr bolo nutné zhotoviť model bez zadaných tuhostí a vypočítať ho. Následne na vypočítané hodnoty vnútorných síl boli predbežne navrhnuté spoje, vypočítané ich tuhosti, ktoré boli vložené do modelu a model bol znova prepočítaný. Podľa výsledných síl z tohto modelu boli spoje opäť upravené aj s ich tuhosťou, ktoré boli následne vložené do modelu a znova prepočítané. Tento proces sa opakoval niekoľko krát. Konečné tuhosti spojov boli zhrnuté do nasledovnej tabuľky.

Tabuľka 10.1 Hodnoty vypočítaných tuhostí spojov

Názov spoja	$k_{t,ser}$ [MN/m]	$k_{t,u}$ [MN/m]	$k_{r,ser}$ [MNm/rad]	$k_{r,u}$ [MNm/rad]
Rámový roh	311,14	207,41	19,41	12,94
Vrcholový kĺb	23,19	15,46	-	-
Pätný kĺb	72,14	48,10	-	-
Rozpera - priečla	54,11	36,07	-	-
Rozpera - stojka	30,92	20,61	-	-
Oceľový priečnik - stojka	40,43	22,96	-	-

11 Stabilita konštrukcie

Strata stability stavebnej konštrukcie môže spôsobiť jej zlyhanie. Je nežiadúce, aby sa konštrukcia zrútila alebo vychýlila a zmenila tvar vybočenia. Konštrukcia bola analyzovaná programom Scia Engineer 17.1 režimom nelineárna stabilita. Výsledkom výpočtu je násobiteľ zaťaženia α_{cr} , ktorým by museli byť zväčšené zaťaženia, aby spôsobili stratu stability v pružnom stave s globálnym, poprípadе lokálnym vlastným tvarom. Pre vytvorenie stabilitných kombinácií boli použité nelineárne kombinácie, ktoré vyvodili v priečli a stojke maximálne tlakové sily.

11.1 Prúťový model

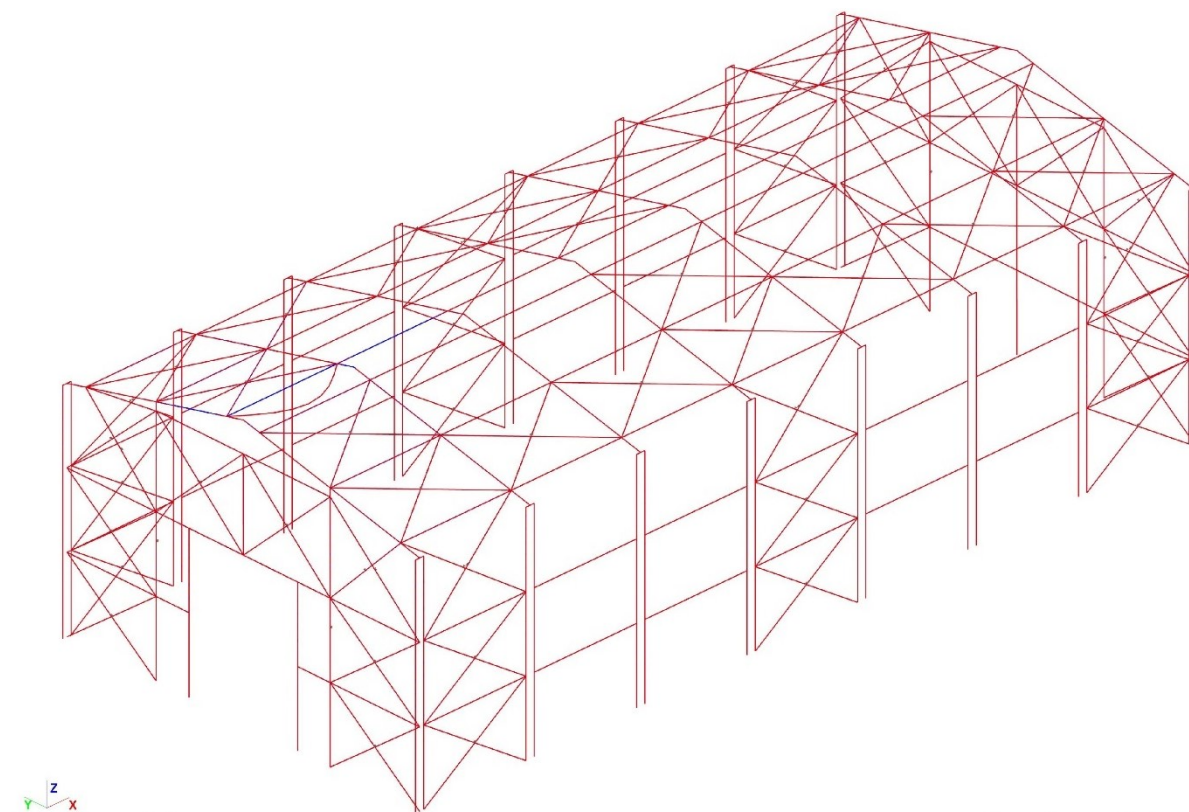
Tento model obsahoval prúťové prvky, moduly posunutia K_u a modul pružnosti $E_{0,05}$. Pre nájdenie správnych výsledkov bolo nutné vytvoriť 100 vlastných tvarov z každej kombinácie. Výsledky boli zhrnuté do tabuľky 6.1. Prvý tvar bola lokálna strata stability prvku rozpera strecha s vlastným číslom 3 (obrázok 11.1). Prvá globálna strata stability bola nájdená v stabilitnej kombinácii S1/43 s vlastným číslom 10,85, pričom sa jednalo o globálnu stratu stability rámu (obrázok 11.2). Prvý vlastný tvar konštrukcie haly ako celku bol nájdený v stabilitnej kombinácii S1/80 s vlastným číslom 19,40 (obrázok 11.3), tento tvar zobrazuje stratu stability v pozdĺžnom smere haly. Posledný hľadaný tvar bol prvý vlastný tvar konštrukcie haly pre priečny smer, ktorý bol objavený v stabilitnej kombinácii S1/94 s vlastným číslom 23,95 (obrázok 11.4). Nasledujúce obrázky majú zväčšenú mierku deformácií kvôli lepšej viditeľnosti.

Obsah kombinácie:

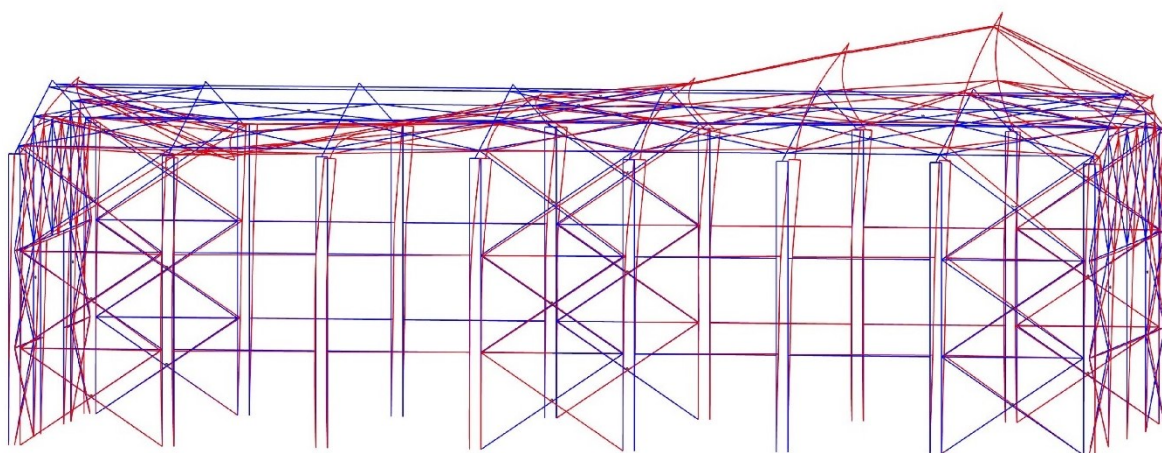
$$S1 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS3 \cdot 1,50 + ZS10 \cdot 0,90$$

$$S2 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS3 \cdot 0,75 + ZS10 \cdot 1,50$$

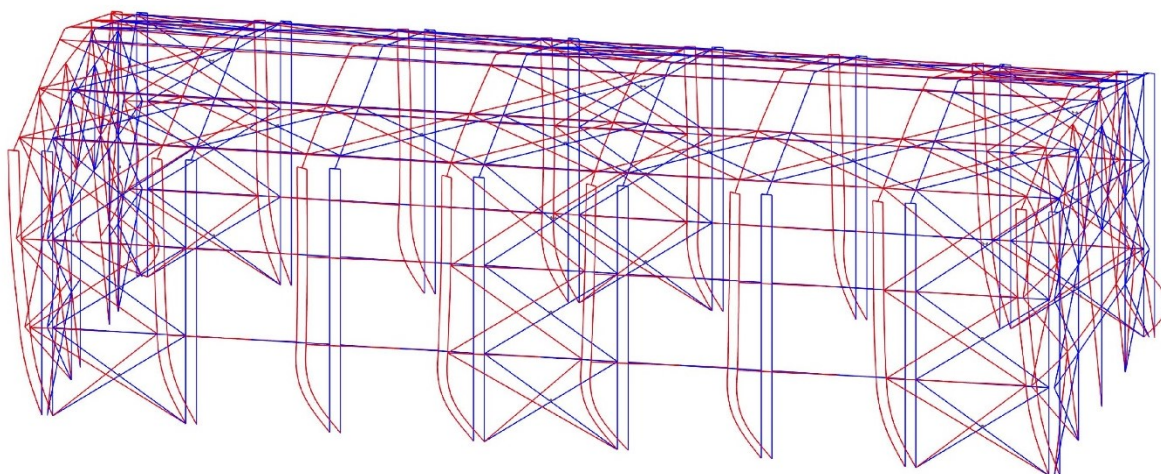
$$S3 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS3 \cdot 0,75 + ZS11 \cdot 1,50$$



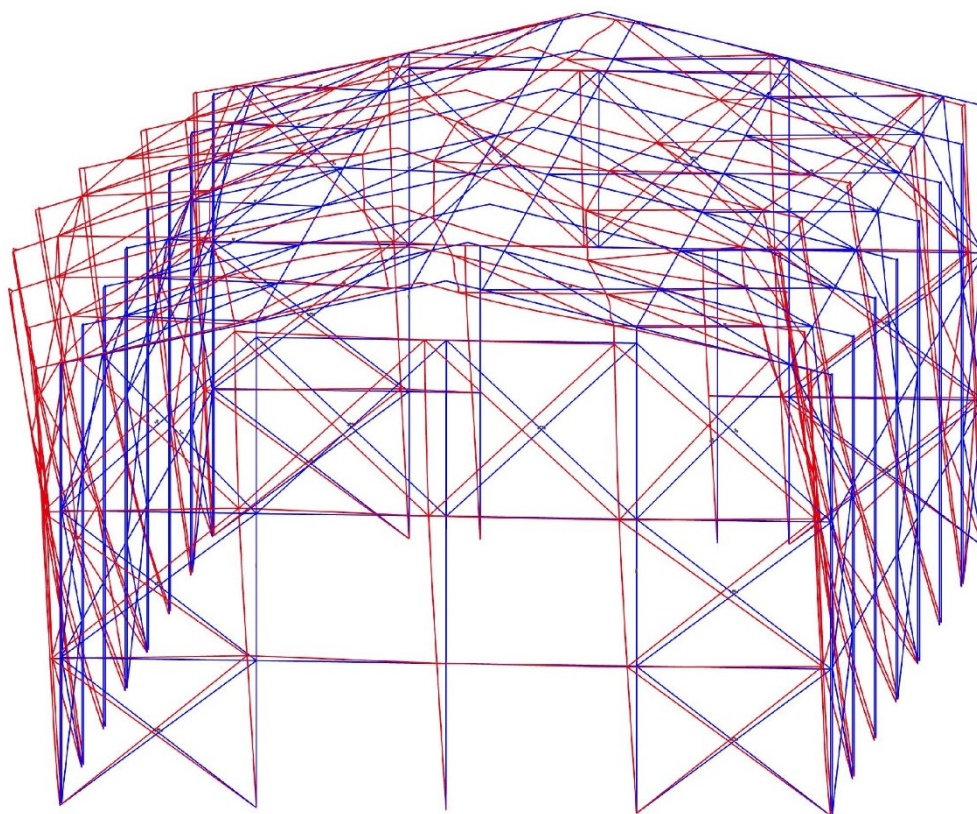
Obrázok 11.1 Lokálna strata stability prvku rozpera strechy - prútový model S1/1 $\alpha_{cr} = 3,00$



Obrázok 11.2 Globálna strata stability rámu - prútový model S1/43 $\alpha_{cr} = 10,85$



Obrázok 11.3 Globálna strata stability konštrukcie haly - prúťový model S1/80 $\alpha_{cr} = 19,40$



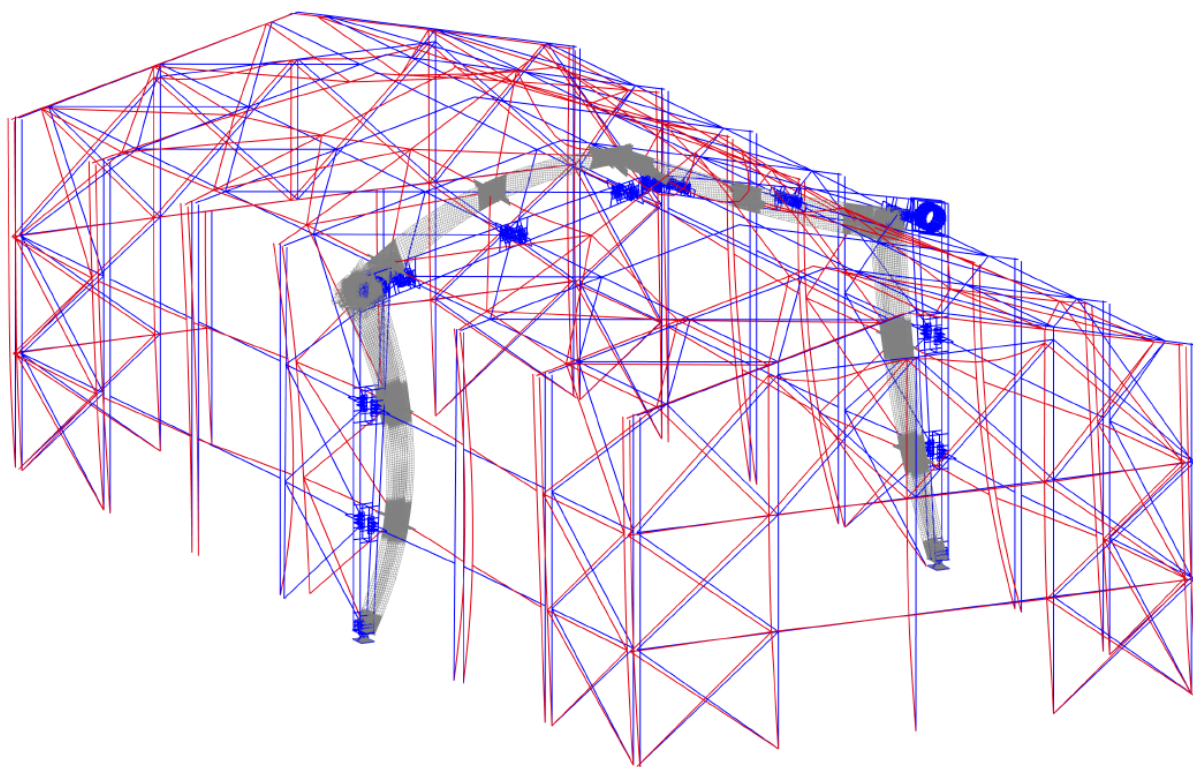
Obrázok 11.4 Globálna strata stability konštrukcie haly - prúťový model S1/94 $\alpha_{cr} = 23,95$

11.2 Modifikácia prútového a škrupinového modelu

Tento model bol vytvorený modifikáciou prútového a škrupinového modelu, obsahoval prútové prvky a jeden rám (v ktorom boli vyvedené najväčšie účinky zaťaženia) bol vymodelovaný pomocou škrupín s izotropnými vlastnosťami. Model bol oveľa náročnejší pre výpočtovú techniku. Vzhľadom k faktu, že model obsahoval cca 2 milióny rovníc a pri stabilitnom výpočte požadoval cca 14 GB pamäte ram bol počet hľadaných vlastných čísel znížený zo 100 na 40. Napriek tomuto zníženiu vlastných tvarov sa podarilo nájsť globálnu stratu stability rámu v stabilitej kombinácii S4/38 s vlastným číslom 7,37. Kombinácia S4 je rovnaká ako kombinácia S1 z prútového modelu. Nasledujúce obrázky majú zväčšenú mierku deformácií kvôli lepšej viditeľnosti.

Obsah kombinácie:

$$S4 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS3 \cdot 1,50 + ZS10 \cdot 0,90$$



Obrázok 11.5 Globálna strata stability rámu – modifikovaný model S4/38 $\alpha_{cr} = 9,37$

Tabuľka 11.1 Výsledky stabilitného výpočtu

Kombinácia	Vlastný tvar	α_{cr} [-]
S1	1	3,00
S1	43	10,85
S1	56	12,60
S1	80	19,40
S1	94	23,95
S2	1	3,00
S2	74	20,03
S3	1	3,00
S3	54	14,48
S3	60	15,13
S4	1	3,00
S4	38	9,37

11.3 Záver stabilitného výpočtu

Záverom stabilitného výpočtu je zistenie, že strata stability prútového modelu bola s $\alpha_{cr} = 10,85$ a jednalo sa o globálnu stratu stability rámu. Strata stability modifikovaného prútovo - škrupinového modelu bola $\alpha_{cr} = 9,37$ a jednalo sa taktiež o globálnu stratu stability rámu. Rozdiel medzi jednotlivými modelmi je 13,64%. Tým sa naskytla otázka, ktorý z modelov je správny a ktorý z modelov sa blíži viac realite. I keď prútový model bol vymodelovaný so zadanými excentricitami pomocou tuhých prútov a posunutiami má svoje nedostatky. Modifikovaný prútovo - škrupinový model lepšie vystihuje správanie v realite (lokalita, vydúvanie, klopenie) a boli v ňom presne vymodelované spoje. Vzhľadom k tomu, že sme dostali dva rôzne výsledky z dvoch modelov môžeme urobiť nasledujúci úsudok. Globálna strata stability by mala byť pre lineárny posudok konštrukcie $\alpha_{cr} > 10,00$ a celkovo by nemala byť $\alpha_{cr} < 6,00$. Aj keď škrupinový model má menšie α_{cr} ako prútový stále sa nachádza ďaleko od bezpečnej hranice.

12 Všeobecné vzorce ku MSÚ

Všetky drevené prvky, ktorých je navrhnutá konštrukcia haly, sú z hranatých profilov, pre ich prierezové charakteristiky platia vzťahy.

12.1 Prierezové charakteristiky

Plocha prvku

$$A = b \cdot h \quad (12.1)$$

kde b je šírka prvku

h výška prvku

Plocha kruhového prierezu .

$$A_k = \frac{\pi \cdot d^2}{32} \quad (12.2)$$

kde d je priemer prierezu

Prierezový modul pre kruh

$$W_{el} = \frac{\pi \cdot d^3}{32} \quad (12.3)$$

kde d je priemer prierezu

Prierezový modul k ose y

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 \quad (12.4)$$

kde b je šírka prvku

h výška prvku

Prierezový modul k ose z

$$W_z = \frac{1}{6} \cdot b^2 \cdot h \quad (12.5)$$

kde b je šírka prvku

h výška prvku

Moment zotrvačnosti k ose y

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 \quad (12.6)$$

kde b je šířka prvku

h výška prvku

Moment zotrvačnosti k ose z

$$I_z = \frac{1}{12} \cdot b^3 \cdot h \quad (12.7)$$

kde b je šířka prvku

h výška prvku

Polomer zotrvačnosti k ose y

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} \quad (12.8)$$

kde I_y je moment zotrvačnosti k ose y

A plocha prvku

Polomer zotrvačnosti k ose z

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} \quad (12.9)$$

kde I_z je moment zotrvačnosti k ose z

A plocha prvku

12.2 Drevené prvky konštrukcie

12.2.1 Materiálové charakteristiky dreva

Drevo: GL24h

Typ: Lepené lamelové drevo

Trieda prevádzky: 2

Trvanie: krátkodobé (rozhodujúca kombinácia je vždy sneh)

Dielčí súčiniteľ spoľahlivosti

$\gamma_m = 1,25$ (pre lepené lamelové drevo)

$k_{mod} = 0,90$

Charakteristické pevnosti:

$f_{c,0,k} = 24,00$ MPa

$f_{t,0,k} = 16,50$ MPa

$f_{m,k} = 24,00$ MPa

$f_{v,k} = 2,70$ MPa

5 % kvantil modulu pružnosti:

$E_{0,05} = 9400$ MPa

Charakteristická hustota:

$\rho_k = 380$ kg/m³

Návrhová pevnosť v tlaku rovnobežne s vláknami:

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} \quad (12.10)$$

kde k_{mod} je modifikačný súčiniteľ zohľadňujúci vplyv trvania zaťaženia a vlhkosti

$f_{c,0,k}$ charakteristická pevnosť v tlaku rovnobežne s vláknami

γ_M dielčí súčiniteľ vlastností materiálu

Návrhová pevnosť v ťahu rovnobežne s vláknami:

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M} \quad (12.11)$$

kde k_{mod} je modifikačný súčiniteľ zohľadňujúci vplyv trvania zaťaženia a vlhkosti

$f_{t,0,k}$ charakteristická pevnosť v ťahu rovnobežne s vláknami

γ_M dielčí súčiniteľ vlastností materiálu

Návrhová pevnosť v ohybe

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} \quad (12.12)$$

kde k_{mod} je modifikačný súčiniteľ zohľadňujúci vplyv trvania zaťaženia a vlhkosti

$f_{m,k}$ charakteristická pevnosť v ohybe

γ_M dielčí súčiniteľ vlastností materiálu

Návrhová pevnosť v šmyku

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} \quad (12.13)$$

kde k_{mod} je modifikačný súčiniteľ zohľadňujúci vplyv trvania zaťaženia a vlhkosti

$f_{v,k}$ charakteristická pevnosť v šmyku

γ_M dielčí súčiniteľ vlastností materiálu

12.2.2 Návrhové napätie dreva

Normálové napätie v tlaku rovnobežne s vláknami

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{|N_{Ed}|}{A} \quad (12.14)$$

kde N_{Ed} je návrhová normálová tlaková sila

A plocha prvku

Normálové napätie v tlaku kolmo na vlákna

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{|N_{Ed}|}{A} \quad (12.15)$$

kde N_{Ed} je návrhová normálová tlaková sila

A plocha prvku

Normálové napätie v ťahu rovnobežne s vláknami

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} \quad (12.16)$$

kde N_{Ed} je návrhová normálová ťahová sila

A plocha prvku

Normálové napätie v ohybe k osi y

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{|M_{Ed,y}|}{W_y} \quad (12.17)$$

kde $M_{Ed,y}$ je návrhový ohybový moment k osi y
 W_y prierezový modul k osi y

Normálové napätie v ohybe k osi z

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{|M_{Ed,z}|}{W_z} \quad (12.18)$$

kde $M_{Ed,z}$ je návrhový ohybový moment k osi z
 W_z prierezový modul k osi z

Šmykové napätie

$$\tau_d = \frac{3 \cdot V_{Ed}}{2 \cdot A_{ef}} \quad (12.19)$$

kde V_{Ed} je návrhová posúvajúca sila
 A_{ef} efektívna plocha prvku

$$A_{ef} = b_{ef} \cdot h \quad (12.20)$$

kde b_{ef} je efektívna šírka prvku

$$b_{ef} = 0,67 \cdot b \quad (12.21)$$

kde b je šírka prvku

12.2.3 Súčiniteľ vzperu pre drevené prvky $k_{c,y}$ a $k_{c,z}$

Štíhle tlačené prvky je nutné posúdiť s vplyvom vzperu prostredníctvom súčiniteľa $k_{c,y}$ a $k_{c,z}$.
Postup jeho stanovenia vyjadrujú nasledujúce vzťahy.

Štíhlostný pomer k ose y:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \quad (12.22)$$

kde $L_{cr,y}$ je vzperná dĺžka v rovine väzby
 i_y polomer zotrvačnosti

Štíhlostný pomer k ose z:

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \quad (12.23)$$

kde $L_{cr,z}$ je vzperná dĺžka v rovine väzby

i_z polomer zotrvačnosti

Pomerné štíhlosti:

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (12.24)$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (12.25)$$

kde λ_y a λ_z sú štíhlostné pomery zodpovedajúce ohybu okolo osy y (priehyb v smere osi z)

$E_{0,05}$ hodnota 5% kvantilu modulu pružnosti rovnobežne s vláknami

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2) \quad (12.26)$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) \quad (12.27)$$

kde β_c je súčiniteľ pre prvky splňujúce amplitúdy zakrivenia merané uprostred medzi podporami. $\beta_c = 0,1$ pre lepené lamelové drevo.

$\lambda_{rel,y}$ a $\lambda_{rel,z}$ štíhlostné pomery

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \quad (12.28)$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} \quad (12.29)$$

$k_m = 0,7$ pre obdĺžnikové prierezy

$k_m = 1$ pre ostatné prierezy

12.2.4 Klopenie

Strata priečnej a torznej stability (klopenie) sa zohľadní prostredníctvom súčiniteľa klopenia k_{crit} podľa nasledujúcich vzťahov

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot L_{ef}} \cdot E_{0,05} \quad (12.30)$$

kde b je šírka nosníku

h výška nosníku

L_{ef} účinná dĺžka pri klopení

$E_{0,05}$ 5% kvantil modulu pružnosti dreva

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} \quad (12.31)$$

kde $f_{m,k}$ je charakteristická pevnosť dreva v ohybe 12.2.1

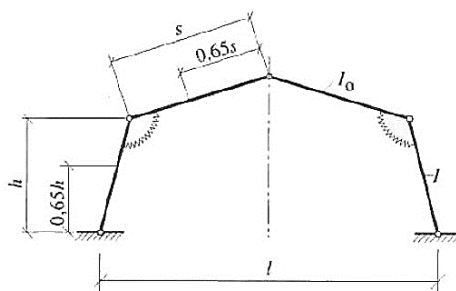
$\sigma_{m,crit}$ kritický moment (12.28)

súčiniteľ klopenia sa potom určí z nasledujúceho vzťahu

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{pre } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m} & \text{pre } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{pre } 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{cases} \quad (12.32)$$

12.2.5 Určenie vzpernej dĺžky priečle a stojky

Pre dvojklbové a trojklbové rámy so sklonom stojky menším než 15° (obrázok 12.1) sa dá pre určenie vzpernej dĺžky stojky pre vybočenie v rovine rámu použiť vzťah (12.35) a pre určenie vzpernej dĺžky priečle pre vybočenie v rovine rámu vzťah (12.41). Použitie týchto vzperných dĺžok zároveň zohľadňuje účinok imperfekcií a deformácií podľa teórie II. rady.



Obrázok 12.1 Vzperné dĺžky rámu zdroj [2]

Vzperná dĺžka stojky sa vypočíta podľa nasledujúceho vzťahu

$$l_{ef} = h \cdot \sqrt{4 + 3,2 \cdot \frac{I \cdot s}{I_0 \cdot h} + 10 \cdot \frac{E \cdot I}{h \cdot K_r}} \quad (12.33)$$

kde h je výška stojky
 s dĺžka priečle
 I moment zotrvačnosti stojky
 I_0 moment zotrvačnosti priečle
 E modul pružnosti dreva
 K_r rotačná tuhosť spoja

$$l_{ef} = h \cdot \sqrt{4 + 3,2 \cdot \frac{I \cdot s}{I_0 \cdot h} + 10 \cdot \frac{E \cdot I}{h \cdot K_r}} \cdot \sqrt{\frac{I_0 \cdot N}{I \cdot N_0}} \quad (12.34)$$

V prípade premenlivého prierezu sa dovoľujú do vzťahov (12.35) a (12.41) dosadiť prierezové hodnoty v mieste $0,65 \cdot s$ poprípadе $0,65 \cdot h$ ako je zobrazené na obrázku 12.1.

12.3 Ocel'ové prvky konštrukcie

12.3.1 Materiálové charakteristiky ocele

Ako materiál stužidla bola použitá oceľ triedy S460, ktorej medza klzu $f_y = 460$ MPa, a pre plechy a zvyšnú oceľovú konštrukciu S355, ktorej medza klzu $f_y = 355$ MPa, $f_u = 510$ MPa.

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

$$\gamma_{M1} = 1,00$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

Modul pružnosti

$$E = 210\,000 \text{ MPa}$$

Charakteristická hustota:

$$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$$

Návrhová hodnota medze klzu sa spočíta:

$$f_{y,d} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad (12.35)$$

kde f_y je medza klzu ocele prvku

γ_{M0} dielčí súčiniteľ spoľahlivosti materiálu, $\gamma_{M0} = 1,00$

12.3.2 Stanovenie súčiniteľa vzpernosti χ

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 + \bar{\lambda}^2}} \quad (12.36)$$

kde

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] \quad (12.37)$$

kde α je súčiniteľ imperfekcie podľa Tabuľka 12.1

$\bar{\lambda}$ pomerná štíhlosť stanovená podľa (12.40)

Tabuľka 12.1 Súčinitele imperfekcie pre krivky vzpernej pevnosti

Krivka vzpernej pevnosti	a_0	a	b	c	d
Súčiniteľ imperfekcie α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} \quad (12.38)$$

kde L_{cr} je vzperná dĺžka v uvažovanej rovine vybočenia

i polomer zotrvačnosti plného prierezu k príslušnej osi (12.8)

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_{yd}}} \quad (12.39)$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} \quad (12.40)$$

12.3.3 Návrhová únosnosť ocele

Návrhová únosnosť ocele v ťahu sa vypočíta nasledovne:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{y,d} \quad (12.41)$$

kde A je plocha prierezu prvku

$f_{y,d}$ návrhová hodnota medza klzu ocele vid' (12.35)

Pre prierezy s dierami sa návrhová únosnosť v ťahu $N_{t,Rd}$ má stanoviť ako menšia z hodnôt

$$a) \quad N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_{y,d}}{\gamma_{M0}} \quad (12.42)$$

kde A je plocha prierezu

$f_{y,d}$ návrhová hodnota medza klzu ocele

γ_{M0} dielčí súčiniteľ únosnosti prierezu ktorejkoľvek triedy

$$b) \quad N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \quad (12.43)$$

kde A_{net} je oslabená plocha

f_u návrhová hodnota medze pevnosti ocele

γ_{M0} dielčí súčiniteľ únosnosti prierezu ktorejkoľvek triedy

Únosnosť v šmyku

Pokiaľ nepôsobí krútenie, určí sa návrhová plastická únosnosť vo šmyku:

$$V_{Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yd}}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} \quad (12.44)$$

kde A_v je šmyková plocha

$f_{y,d}$ návrhová hodnota medza klzu ocele

γ_{M0} dielčí súčiniteľ únosnosti prierezu ktorejkoľvek triedy

Únosnosť v ohybe

$$M_{Rd} = \frac{W_{pl/el} \cdot f_{yd}}{\gamma_{M0}} \quad (12.45)$$

kde $W_{pl,el}$ je plastický / elastický modul pružnosti

$f_{y,d}$ návrhová hodnota medza klzu ocele vid' (12.35)

γ_{M0} dielčí súčiniteľ únosnosti prierezu ktorejkoľvek triedy

Vzperná únosnosť

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_{yd}}{\gamma_{M1}} \quad (12.46)$$

kde χ je súčiniteľ vzpernosti podľa (12.36)

A prierezová plocha prvku

$f_{y,d}$ návrhová hodnota medza klzu ocele vid' (12.35)

γ_{M1} dielčí súčiniteľ únosnosti pri posudzovaní stability prvku

12.4 Podmienky posúdenia drevených prvkov MSÚ

Podmienky posúdenia drevených prvkov pre MSÚ sú prevzaté z normy [5].

Podmienka posúdenia kombinácie ohybu a tlaku

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{cy} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1 \quad (12.47)$$

kde $\sigma_{m,d}$ je návrhové napätie v ohybe (12.17)

$\sigma_{c,0,d}$ návrhové napätie v tlaku rovnobežne s vláknami (12.14)

$f_{c,0,d}$ návrhová pevnosť v tlaku rovnobežne s vláknami (12.10)

k_{cy} súčiniteľ vzperu podľa (12.28)

k_{crit} súčiniteľ klopenia (12.32)

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1 \quad (12.48)$$

kde $\sigma_{m,d}$ je návrhové napätie v ohybe (12.17)

$\sigma_{c,0,d}$ návrhové napätie v tlaku rovnobežne s vláknami (12.14)

$f_{c,0,d}$ návrhová pevnosť v tlaku rovnobežne s vláknami (12.10)

$k_{c,z}$ súčiniteľ vzperu podľa (12.29)

k_{crit} súčiniteľ klopenia (12.32)

Podmienka posúdenia šmyku

$$\tau_d \leq f_{v,d} \quad (12.49)$$

kde τ_d je návrhové napätie v šmyku (12.19)

$f_{v,d}$ návrhová pevnosť v šmyku (12.13)

Podmienka posúdenia ťahu rovnobežne s vláknami.

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d} \quad (12.50)$$

kde $\sigma_{t,0,d}$ je návrhové ťahové napätie rovnobežne s vláknami (12.16)

$f_{t,0,d}$ návrhová pevnosť v ťahu rovnobežne s vláknami (12.11)

Podmienka posúdenia vzperného tlaku

$$\sigma_{c,0,d} \leq \min(k_{c,y}, k_{c,z}) \cdot f_{c,0,d} \quad (12.51)$$

kde $\sigma_{c,0,d}$ je návrhové napätie v tlaku rovnobežne s vláknami (12.14)

$f_{c,0,d}$ návrhová pevnosť v tlaku rovnobežne s vláknami (12.10)

$k_{c,y}$ súčiniteľ vzperu podľa (12.28)

$k_{c,z}$ súčiniteľ vzperu podľa (12.29)

Podmienka posúdenia tlaku kolmo na vlákna.

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{t,0,d} \quad (12.52)$$

kde $\sigma_{c,90,d}$ je návrhové tlakové napätie kolmo na vlákna (12.15)

$f_{t,0,d}$ návrhová pevnosť kolmo na vlákna (12.11)

$k_{c,90}$ súčiniteľ zohľadňujúci usporiadanie zaťaženia, možnosť štiepenia a stupeň deformácie v tlaku, $k_{c,90} = 1,75$

12.5 Podmienky posúdenia ocelových prvkov MSÚ

Podmienky posúdenia ocelových prvkov pre MSÚ boli prevzaté z normy [11].

Podmienka posúdenia ťahu

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0 \quad (12.53)$$

kde N_{Ed} je návrhová hodnota ťahovej sily

$N_{t,Rd}$ návrhová ťahová únosnosť prútu (12.41)

Podmienka posúdenia vzperného tlaku

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad (12.54)$$

kde N_{Ed} je návrhová hodnota tlakovej sily

$N_{b,Rd}$ návrhová vzperná únosnosť tlačenej prútu (12.46)

Podmienka posúdenia ohybového momentu

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad (12.55)$$

kde M_{Ed} je návrhová hodnota ohybového momentu

$M_{c,Rd}$ návrhová ohybová únosnosť prútu (12.45)

Podmienka posúdenia únosnosti vo šmyku

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad (12.56)$$

kde V_{Ed} je návrhová hodnota šmykovej sily

$V_{c,Rd}$ návrhová únosnosť vo šmyku podľa (12.44)

Podmienka posúdenia malý šmyk

$$V_{Ed} \leq 0,5 \cdot V_{c,Rd} \quad (12.57)$$

kde V_{Ed} je návrhová hodnota šmykovej sily

$V_{c,Rd}$ návrhová únosnosť vo šmyku podľa (12.44)

Pokiaľ je splnená podmienka (12.57) nie je nutné redukovať medz klzu pre posúdenie ohybového momentu podľa

Redukcia ohybového momentu

$$f_{yd,red} = (1 - \rho) \cdot f_{yd} \quad (12.58)$$

$$\text{kde } \rho = \left(2 \cdot \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1\right)^2 \quad (12.59)$$

kde V_{Ed} je návrhová hodnota šmykovej sily

$V_{pl,Rd}$ návrhová únosnosť vo šmyku podľa (12.44)

Podmienka posúdenia prútu namáhaného na kombináciu ohybu a vzperného tlaku

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1 \quad (12.60)$$

kde N_{Ed} je návrhová hodnota tlakovej sily

$N_{b,Rd}$ návrhová vzperná únosnosť tlačeneho prútu (12.46)

$M_{y,Ed}$ je návrhová hodnota ohybového momentu v osi y

$M_{y,Rd}$ návrhová ohybová únosnosť prútu k osi y (12.45)

$M_{z,Ed}$ je návrhová hodnota ohybového momentu v osi z

$M_{z,Rd}$ návrhová ohybová únosnosť prútu k osi z (12.45)

13 Medzný stav únosnosti

Prekročenie medzného stavu únosnosti má za následok porušenie konštrukcie a väčšinou vyvoláva potrebu významnej opravy alebo odstránenie konštrukcie. Zníženie pravdepodobnosti prekročenia medzného stavu únosnosti sa prevádza úpravou charakteristických hodnôt zaťaženia a vlastností materiálu, teda zavedením návrhových hodnôt, dielčím súčiniteľom spoľahlivosti γ .

Návrhové hodnoty vnútorných síl boli získane nelineárnym výpočtom s uvažovaním modulov posunutia K_u geometrickej a konštrukčnej nelinearity. Pri nasledujúcich posudkoch budú uvedené vnútorné sily vstupujúce do výpočtu, z ktorej kombinácie zaťaženia vznikli a obsah zmienenej kombinácie. Posudok bol prevedený podľa [5] a [11].

Jednotlivé posudky boli spracované súborom, ktorý vytvoril autor diplomovej práce v [23].

13.1 Priečla

Navrhnutý profil premenlivého prierezu, kde v mieste rámového rohu 180/700 a vo vrchole 180/350 dreva triedy GL24h. Prvok bolo nutné posúdiť na kombináciu osového tlaku s ohybom so stratou stability 13.1.1 a na maximálnu posúvajúcu silu 13.1.2.

V tabuľke 13.1 sú vypočítané hodnoty prierezových veličín podľa 12.1 a v tabuľke 13.2 vypočítané hodnoty súčiniteľa vzperu $k_{c,y}$ a $k_{c,z}$ podľa 12.2.3.

Tabuľka 13.1 Priečla – prierezové charakteristiky

Veličina	Hodnota	Jednotka
b	180,00	[mm]
h_z	700	[mm]
h_k	350	[mm]
A	126000	[mm ²]
W_y	1,50E+07	[mm ³]
W_z	3780000	[mm ³]
I_y	5,15E+09	[mm ⁴]
I_z	3,40E+08	[mm ⁴]
i_y	202,07	[mm]
i_z	51,96	[mm]
k_m	0,70	[-]
k_{cr}	0,67	[-]

Tabuľka 13.2 Priečla – charakteristiky vzperu

Veličina	Hodnota	Jednotka
$L_{cr,y}$	20952	[mm]
$L_{cr,z}$	3000	[mm]
λ_y	103,68	[-]
λ_z	57,74	[-]
$\lambda_{rel,y}$	1,67	[-]
$\lambda_{rel,z}$	0,93	[-]
β	0,10	[-]
k_y	1,96	[-]
$k_{c,y}$	0,33	[-]
k_z	0,96	[-]
$k_{c,z}$	0,82	[-]

13.1.1 Posúdenie kombinácie klopenia a vzperného tlaku

Posúdenie na kombináciu maximálneho ohybového momentu $M_{Ed,y}$, príslušného ohybového momentu $M_{Ed,z}$ so stratou stability a vzperným tlakom podľa (12.47) a (12.48).

V tabuľke 13.3 sú uvedené hodnoty návrhových napätí podľa 12.2.1, hodnoty vypočítaných napätí podľa 12.2.2 a návrhové vnútorné sily. Rozhodujúca kombinácia NC27.

Obsah kombinácie:

$$NC27 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS3 \cdot 1,50 + ZS10 \cdot 0,90$$

Tabuľka 13.3 Priečla - ohyb so stratou stability so vzperným tlakom NC27

Veličina	Hodnota	Jednotka
$f_{c,0,d}$	17,28	[MPa]
$f_{m,d}$	17,28	[MPa]
N_{Ed}	-41,20	[kN]
$M_{Ed,y}$	-169,13	[kNm]
$M_{Ed,z}$	-0,70	[kNm]
$\sigma_{c,0,d}$	0,33	[MPa]
$\sigma_{m,y,d}$	11,49	[MPa]
$\sigma_{m,z,d}$	0,19	[MPa]

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{cy} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$

0,72 < 1 → Vyhovuje

Využitie 72,14 %

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$

0,59 < 1 → Vyhovuje

Využitie 46,49 %

13.1.2 Posúdenie únosnosti vo šmyku

Posúdenie na maximálnu posúvajúcu silu $V_{E,d}$ podľa (12.49). Vzhľadom k tomu, že sa jedná o premenlivý prierez boli prevedené dva posudky jeden v mieste rámového rohu a druhý vo vrchole. V týchto miestach vznikli extrémne posúvajúce sily.

Posúdenie v mieste rámového rohu

V tabuľke 13.4 sú uvedené hodnoty návrhových napätí podľa 12.2.1, hodnoty vypočítaných napätí podľa 12.2.2 a návrhové vnútorné sily. Rozhodujúca kombinácia NC27.

Obsah kombinácie:

$$NC27 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS3 \cdot 1,50 + ZS10 \cdot 0,90$$

Tabuľka 13.4 Priečla – šmyk v mieste rámového rohu NC27

Veličina	Hodnota	Jednotka
$f_{v,d}$	1,94	[MPa]
V_{Ed}	54,10	[kN]
τ_d	0,64	[MPa]

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

0,95 MPa < 1,73 MPa → Vyhovuje

Využitie 33,13 %

Posúdenie vo vrchole

Posúdenie na maximálnu posúvajúcu silu $V_{E,d}$ podľa (12.49).

V tabuľka 13.5 sú uvedené hodnoty návrhových napätí podľa 12.2.1, hodnoty vypočítaných napätí podľa 12.2.2 a návrhové vnútorné sily. Rozhodujúca kombinácia NC32.

Obsah kombinácie:

$$NC32 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS4 \cdot 1,50 + ZS11 \cdot 0,90$$

Tabuľka 13.5 Priečla – šmyk vo vrchole NC32

Veličina	Hodnota	Jednotka
$f_{v,d}$	1,94	[MPa]
V_{Ed}	-19,45	[kN]
τ_d	0,61	[MPa]

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

$$0,69 \text{ MPa} < 1,94 \text{ MPa} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 31,61 %

13.2 Stojka

Navrhnutý profil premenlivého prierezu, kde v mieste rámového rohu 120/700 a v mieste uloženia 120/350 dreva triedy GL24h. Prvok bolo nutné posúdiť na kombináciu osového tlaku s ohybom so stratou stability 13.2.1 a na maximálnu posúvajúcu silu 13.2.2.

V tabuľke 13.6 sú vypočítané hodnoty prierezových veličín podľa 12.1 a v tabuľke 13.7 vypočítané hodnoty súčiniteľa vzperu $k_{c,y}$ a $k_{c,z}$ podľa 12.2.3.

Tabuľka 13.6 Stojka – prierezové charakteristiky

Veličina	Hodnota	Jednotka
b	240	[mm]
h_z	700	[mm]
h_k	350	[mm]
A	168000	[mm ²]
W_y	2E+07	[mm ³]
W_z	6720000	[mm ³]
I_y	6,86E+09	[mm ⁴]
I_z	8,06E+08	[mm ⁴]
i_y	202,073	[mm]
i_z	69,282	[mm]
k_m	0,7	[-]
k_{cr}	0,67	[-]

Tabuľka 13.7 Stojka – charakteristiky vzperu

Veličina	Hodnota	Jednotka
$L_{cr,y}$	24090	[mm]
$L_{cr,z}$	2500	[mm]
λ_y	119,22	[-]
λ_z	36,08	[-]
$\lambda_{rel,y}$	1,92	[-]
$\lambda_{rel,z}$	0,58	[-]
β	0,10	[-]
k_y	2,42	[-]
$k_{c,y}$	0,26	[-]
k_z	0,68	[-]
$k_{c,z}$	0,96	[-]

13.2.1 Posúdenie na kombináciu klopenia so vzperným tlakom

Posúdenie na kombináciu maximálneho ohybového momentu $M_{Ed,y}$, príslušného ohybového momentu $M_{Ed,z}$ so stratou stability a vzperným tlakom podľa (12.47) a (12.48).

V tabuľke 13.8 sú uvedené hodnoty návrhových napätí podľa 12.2.1, hodnoty vypočítaných napätí podľa 12.2.2 a návrhové vnútorné sily. Rozhodujúca kombinácia NC27.

Obsah kombinácie:

$$NC27 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS3 \cdot 1,50 + ZS10 \cdot 0,90$$

Tabuľka 13.8 Stojka - ohyb so stratou stability so vzperným tlakom NC27

Veličina	Hodnota	Jednotka
$f_{c,0,d}$	17,28	[MPa]
$f_{m,d}$	17,28	[MPa]
N_{Ed}	-69,44	[kN]
$M_{Ed,y}$	-171,14	[kNm]
$M_{Ed,z}$	-0,68	[kNm]
$\sigma_{c,0,d}$	0,41	[MPa]
$\sigma_{m,y,d}$	8,71	[MPa]
$\sigma_{m,z,d}$	0,10	[MPa]

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{cy} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$

0,60 < 1 → Vyhovuje

Využitie 59,69 %

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$

0,28 < 1 → Vyhovuje

Využitie 27,87 %

13.2.2 Posúdenie únosnosti vo šmyku

Posúdenie na maximálnu posúvajúcu silu $V_{E,d}$ podľa (12.49). Vzhľadom k tomu, že sa jedná o premenlivý prierez boli prevedené dva posudky jeden v mieste rámového rohu a druhý v mieste uloženia stĺpu. V týchto miestach vznikli extrémne posúvajúce sily.

Posúdenie v mieste rámového rohu

V tabuľke 13.9 sú uvedené hodnoty návrhových napätí podľa 12.2.1, hodnoty vypočítaných napätí podľa 12.2.2 a návrhové vnútorné sily. Rozhodujúca kombinácia NC27.

Obsah kombinácie:

$$NC27 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS3 \cdot 1,50 + ZS10 \cdot 0,90$$

Tabuľka 13.9 Stojka – šmyk v mieste rámového rohu NC27

Veličina	Hodnota	Jednotka
$f_{v,d}$	1,94	[MPa]
V_{Ed}	-24,19	[kN]
τ_d	0,31	[MPa]

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

0,31 MPa < 1,94 MPa → Vyhovuje

Využitie 15,72 %

Posúdenie v mieste uloženia stĺpu

Posúdenie na maximálnu posúvajúcu silu $V_{E,d}$ podľa (10.39).

V tabuľke 13.10 sú uvedené hodnoty návrhových napätí podľa 12.2.1, hodnoty vypočítaných napätí podľa 12.2.2 a návrhové vnútorné sily. Rozhodujúca kombinácia NC113.

Obsah kombinácie:

$$NC113 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS3 \cdot 0,75 + ZS10 \cdot 1,50$$

Tabuľka 13.10 Stojka – šmyk v mieste uloženia stĺpu NC113

Veličina	Hodnota	Jednotka
$f_{v,d}$	1,94	[MPa]
V_{Ed}	-24,19	[kN]
τ_d	0,77	[MPa]

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

$$0,77 \text{ MPa} < 1,94 \text{ MPa} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 39,50 %

13.3 Rozpera strecha

Navrhnutý profil 140/160 dreva triedy GL24h. Prvok bolo nutné posúdiť na kombináciu ťah rovnobežne s vláknami 13.3.1 a kombináciu vzperného tlaku 13.3.2.

V tabuľke 13.11 sú vypočítané hodnoty prierezových veličín podľa 11.16 a v tabuľke 13.12 vypočítané hodnoty súčiniteľa vzperu $k_{c,y}$ a $k_{c,z}$ podľa 12.2.3.

Tabuľka 13.11 Rozpera strecha – prierezové charakteristiky

Veličina	Hodnota	Jednotka
b	140	[mm]
h	160	[mm]
A	22400	[mm ²]
I_y	4,78E+07	[mm ⁴]
I_z	3,66E+07	[mm ⁴]
i_y	46,188	[mm]
i_z	40,4145	[mm]

Tabuľka 13.12 Rozpera strecha – charakteristiky vzperu

Veličina	Hodnota	Jednotka
$L_{cr,y}$	4000	[mm]
$L_{cr,z}$	4000	[mm]
λ_y	86,60	[-]
λ_z	98,97	[-]
$\lambda_{rel,y}$	1,39	[-]
$\lambda_{rel,z}$	1,59	[-]
β	0,10	[-]
k_y	1,52	[-]
$k_{c,y}$	0,47	[-]
k_z	1,83	[-]
$k_{c,z}$	0,37	[-]

13.3.1 Posúdenie ťahu rovnobežne s vláknami

Posúdenie na kombináciu maximálneho ťahu rovnobežne s vláknami $N_{E,d}$ podľa (12.50).

V tabuľke 13.13 sú uvedené hodnoty návrhových napätí podľa 12.2.1, hodnoty vypočítaných napätí podľa 12.2.2 a návrhové vnútorné sily. Rozhodujúca kombinácia NC116.

Obsah kombinácie:

$$NC116 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS3 \cdot 0,75 + ZS11 \cdot 1,50$$

Tabuľka 13.13 Rozpera strecha – ťah rovnobežne s vláknami NC116

Veličina	Hodnota	Jednotka
$f_{t,0,d}$	11,88	[MPa]
N_{Ed}	83,42	[kN]
$\sigma_{t,0,d}$	3,72	[MPa]

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$$

$$3,72 \text{ MPa} < 11,88 \text{ MPa} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 31,35 %

13.3.2 Posúdenie vzperného tlaku

Posúdenie na kombináciu vzperného tlaku $N_{E,d}$ podľa (12.51).

V tabuľke 13.14 sú uvedené hodnoty návrhových napätí podľa 12.2.1, hodnoty vypočítaných napätí podľa 12.2.2 a návrhové vnútorné sily. Rozhodujúca kombinácia NC113.

Obsah kombinácie:

$$NC113 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS3 \cdot 0,75 + ZS10 \cdot 1,50$$

Tabuľka 13.14 Rozpera strecha – vzperný tlak NC113

Veličina	Hodnota	Jednotka
$f_{c,0,d}$	6,31	[MPa]
N_{Ed}	-54,12	[kN]
$\sigma_{c,0,d}$	2,42	[MPa]

$$\sigma_{c,0,d} \leq \min(k_{c,y}, k_{c,z}) \cdot f_{c,0,d}$$

$$2,42 \text{ MPa} < 6,31 \text{ MPa} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 38,28 %

13.4 Rozpera stena

Navrhnutý profil 140/140 dreva triedy GL24h. Prvok bolo nutné posúdiť na kombináciu ťah rovnobežne s vláknami 13.4.1 a kombináciu vzperného tlaku 13.4.2.

V tabuľke 13.15 sú vypočítané hodnoty prierezových veličín podľa 11.16 a v tabuľke 13.16 vypočítané hodnoty súčiniteľa vzperu $k_{c,y}$ a $k_{c,z}$ podľa 12.2.3.

Tabuľka 13.15 Rozpera stena – prierezové charakteristiky

Veličina	Hodnota	Jednotka
b	140,00	[mm]
h	140,00	[mm]
A	19600,00	[mm ²]
I_y	3,20E+07	[mm ⁴]
I_z	3,20E+07	[mm ⁴]
i_y	40,41	[mm]
i_z	40,41	[mm]

Tabuľka 13.16 Rozpera stena – charakteristiky vzperu

Veličina	Hodnota	Jednotka
$L_{cr,y}$	4000	[mm]
$L_{cr,z}$	4000	[mm]
λ_y	98,97	[-]
λ_z	98,97	[-]
$\lambda_{rel,y}$	1,59	[-]
$\lambda_{rel,z}$	1,59	[-]
β	0,10	[-]
k_y	1,83	[-]
$k_{c,y}$	0,37	[-]
k_z	1,83	[-]
$k_{c,z}$	0,37	[-]

13.4.1 Posúdenie ťahu rovnobežne s vláknami

Posúdenie na kombináciu maximálneho ťahu rovnobežne s vláknami $N_{E,d}$ podľa (12.50).

V tabuľke 13.17 sú uvedené hodnoty návrhových napätí podľa 12.2.1, hodnoty vypočítaných napätí podľa 12.2.2 a návrhové vnútorné sily. Rozhodujúca kombinácia NC102.

Obsah kombinácie:

$$NC102 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS3 \cdot 0,75 + ZS6 \cdot 1,50$$

Tabuľka 13.17 Rozpera stena – ťah rovnobežne s vláknami NC102

Veličina	Hodnota	Jednotka
$f_{t,0,d}$	11,88	[MPa]
N_{Ed}	22,55	[kN]
$\sigma_{t,0,d}$	1,15	[MPa]

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$$

$$1,15 \text{ MPa} < 11,88 \text{ MPa} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 9,68 %

13.4.2 Posúdenie vzperného tlaku

Posúdenie na kombináciu vzperného tlaku $N_{E,d}$ podľa (12.51).

V tabuľka 13.18 sú uvedené hodnoty návrhových napätí podľa 12.2.1, hodnoty vypočítaných napätí podľa 12.2.2 a návrhové vnútorné sily. Rozhodujúca kombinácia NC144.

Obsah kombinácie:

$$NC144 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS15 \cdot 1,50$$

Tabuľka 13.18 Rozpera stena – vzperný tlak NC144

Veličina	Hodnota	Jednotka
$f_{c,0,d}$	6,31	[MPa]
N_{Ed}	-17,4	[kN]
$\sigma_{c,0,d}$	0,89	[MPa]

$$\sigma_{c,0,d} \leq \min(k_{c,y}, k_{c,z}) \cdot f_{c,0,d}$$

$$0,89 \text{ MPa} < 6,31 \text{ MPa} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 14,06 %

13.5 Stužidlo – strecha

Navrhnutý profil Rd 15 mm z ocele S460. Prvok bolo nutné posúdiť na osový ťah 13.5.1.

V tabuľke 13.19 sú vypočítané hodnoty prierezových veličín podľa 12.3.1.

Tabuľka 13.19 Stužidlo strecha – prierezové charakteristiky

Veličina	Hodnota	Jednotka
r	15,00	[mm]
A	284	[mm ²]

13.5.1 Posúdenie na ťah

Posúdenie na maximálnu ťahovú silu $N_{E,d}$ podľa (12.51).

V tabuľke 13.20 je uvedená hodnota návrhovej únosnosti podľa (12.41) a návrhová vnútorná sila. Rozhodujúca kombinácia NC113.

Obsah kombinácie:

$$NC113 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS3 \cdot 0,75 + ZS10 \cdot 1,50$$

Tabuľka 13.20 Stúžidlo strecha - ťah

Veličina	Hodnota	Jednotka
$N_{E,d}$	73,63	[MPa]
$N_{t,Rd}$	91,00	[MPa]

$$N_{t,Rd} \geq N_{Ed}$$

$$91,00 \text{ kN} > 73,63 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 80,91 %

13.6 Stúžidlo – stena

Navrhnutý profil Rd 11 mm z ocele S460. Prvok bolo nutné posúdiť na osový ťah 13.6.1. V tabuľke 13.21 sú vypočítané hodnoty prierezových veličín podľa 12.3.1.

Tabuľka 13.21 Stúžidlo stena – prierezové charakteristiky

Veličina	Hodnota	Jednotka
r	11	[mm]
A	95	[mm ²]

13.6.1 Posúdenie na ťah

Posúdenie na maximálnu ťahovú silu $N_{E,d}$ podľa (12.51).

V tabuľke 13.20 je uvedená hodnota návrhovej únosnosti podľa (12.41) a návrhová vnútorná sila. Rozhodujúca kombinácia NC128.

Obsah kombinácie:

$$NC128 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS3 \cdot 0,75 + ZS15 \cdot 1,50$$

Tabuľka 13.22 Stúžidlo stena - ťah

Veličina	Hodnota	Jednotka
$N_{E,d}$	23,20	[MPa]
$N_{t,Rd}$	36,00	[MPa]

$$N_{t,Rd} \geq N_{Ed}$$

$$36,00 \text{ kN} > 23,20 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 64,44 %

13.7 Stúžidlo – stena čelná

Navrhnutý profil Rd 19 mm z ocele S460. Prvok bolo nutné posúdiť na osový ťah 13.5.1.

V tabuľka 13.23 sú vypočítané hodnoty prierezových veličín podľa 12.3.1.

Tabuľka 13.23 Stúžidlo stena čelná – prierezové charakteristiky

Veličina	Hodnota	Jednotka
r	19	[mm]
A	284	[mm ²]

13.7.1 Posúdenie na ťah

Posúdenie na maximálnu ťahovú silu $N_{E,d}$ podľa (12.51).

V tabuľka 13.24 je uvedená hodnota návrhovej únosnosti podľa (12.41) a návrhová vnútorná sila. Rozhodujúca kombinácia NC118.

Obsah kombinácie:

$$NC118 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS4 \cdot 0,75 + ZS11 \cdot 1,50$$

Tabuľka 13.24 Stúžidlo stena čelná - ťah

Veličina	Hodnota	Jednotka
$N_{E,d}$	88,77	[MPa]
$N_{t,Rd}$	108,00	[MPa]

$$N_{t,Rd} \geq N_{Ed}$$

$$108,00 \text{ kN} > 88,77 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

$$\text{Využitie } 82,19 \%$$

13.8 Stĺp – čelná stena (ocel'ová konštrukcia)

Navrhnutý profil HEB200 z ocele S235. Prvok bolo nutné posúdiť na posúvajúcu silu V_{Ed} 13.8.1. a zistiť o aký typ šmyku sa jedná a následne na kombináciu dvojsoého ohybu so vzperným tlakom 13.8.2.

V tabuľke 13.25 sú uvedené hodnoty prierezových veličín a v tabuľke 13.26 sú vypočítané hodnoty súčiniteľa vzperu χ_y a χ_z podľa 12.3.2.

Tabuľka 13.25 Stĺp čelná stena – prierezové charakteristiky

Veličina	Hodnota	Jednotka
$W_{y,el}$	569617	[mm ³]
$W_{z,el}$	200337	[mm ³]
A	7808	[mm ²]
A_w	1530	[mm ²]
i_y	85,41	[mm]
i_z	50,65	[mm]

Tabuľka 13.26 Stĺp čelná stena – charakteristiky vzperu

Veličina	Hodnota	Jednotka
$L_{cr,y}$	8000	[mm]
$L_{cr,z}$	2500	[mm]
λ_1	93,9	[-]
λ_y	93,66	[-]
λ_z	49,36	[-]
$\lambda_{y,pomerna}$	1,00	[-]
$\lambda_{z,pomerna}$	0,53	[-]
ϕ_y	1,08	[-]
ϕ_z	0,67	[-]
χ_y	0,39	[-]
χ_z	0,66	[-]

13.8.1 Posúdenie šmyku

Posúdenie na maximálnu posúvajúcu silu $V_{E,d}$ podľa (12.56).

V tabuľke 13.27 je uvedená hodnota návrhovej únosnosti podľa (12.44) a návrhová hodnota vnútornej sily. Rozhodujúca kombinácia NC104.

Obsah kombinácie:

$$NC104 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS3 \cdot 0,75 + ZS7 \cdot 1,50$$

Tabuľka 13.27 Stĺp čelná stena - šmyk

Veličina	Hodnota	Jednotka
$V_{E,d}$	32,02	[kN]
$V_{pl,Rd}$	207,59	[kN]

Posudok na malý šmyk

$$V_{pl,Rd} \geq 2 \cdot V_{Ed}$$

$$207,59 \text{ kN} > 60,04 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 30,85 %

Nie je nutné redukovať medzu klzu.

13.8.2 Posúdenie dvojsoého ohybu so vzperným tlakom

Posúdenie na kombináciu dvojsoého ohybového momentu so vzperným tlakom podľa (12.60).

V tabuľke 13.28 sú uvedené hodnoty návrhových únosností podľa 12.3.3 a návrhové vnútorné sily. Rozhodujúca kombinácia NC104.

Obsah kombinácie:

$$NC104 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS3 \cdot 0,75 + ZS7 \cdot 1,50$$

Tabuľka 13.28 Stĺp čelná stena – dvojsoý ohyb so vzperným tlakom

Veličina	Hodnota	Jednotka
N_{Ed}	-30,38	[kN]
$M_{Ed,y}$	79,76	[kNm]
$M_{Ed,z}$	-3,95	[kNm]
$N_{b,Rd}$	718,93	[kNm]
$M_{y,Rd}$	133,86	[kNm]
$M_{z,Rd}$	47,08	[kNm]

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1$$

$$0,72 < 1,00 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 72,20 %

13.9 Nosník – čelná stena nad otvorom (oceľová konštrukcia)

Navrhnutý profil IPE200 z ocele S355. Prvok bolo nutné posúdiť na posúvajúcu silu V_{Ed} 13.9.1 a zistiť o aký typ šmyku sa jedná a následne na kombináciu ohybu so vzperným tlakom 13.9.2.

V tabuľke 13.29 sú uvedené hodnoty prierezových veličín a v tabuľke 13.30 sú vypočítané hodnoty súčiniteľa vzperu χ_y a χ_z podľa 12.3.2.

Tabuľka 13.29 Nosník čelná stena – nad otvorom

Veličina	Hodnota	Jednotka
$W_{y,el}$	194317	[mm ³]
$W_{z,el}$	28474	[mm ³]
A	2848	[mm ²]
A_w	1025	[mm ²]
i_y	82,59	[mm]
i_z	22,36	[mm]

Tabuľka 13.30 Nosník čelná stena – charakteristiky vzperu

Veličina	Hodnota	Jednotka
$L_{cr,y}$	6500	[mm]
$L_{cr,z}$	4000	[mm]
λ_1	76,40	[-]
λ_y	78,70	[-]
λ_z	178,92	[-]
$\lambda_{y,pomerna}$	0,84	[-]
$\lambda_{z,pomerna}$	1,91	[-]
ϕ_y	0,92	[-]
ϕ_z	2,49	[-]
χ_y	0,46	[-]
χ_z	0,18	[-]

13.9.1 Posúdenie šmyku

Posúdenie na maximálnu posúvajúcu silu $V_{E,d}$ podľa (12.56).

V tabuľke 13.31 je uvedená hodnota návrhovej únosnosti podľa (12.44) a návrhová hodnota vnútornej sily. Rozhodujúca kombinácia NC137.

Obsah kombinácie:

$$NC137 = ZS1 \cdot 1,00 + ZS2 \cdot 1,00 + ZS8 \cdot 1,50$$

Tabuľka 13.31 Nosník čelná stena nad otvorom - šmyk

Veličina	Hodnota	Jednotka
$V_{E,d}$	-27,14	[kN]
$V_{pl,Rd}$	210,04	[kN]

Posudok na malý šmyk

$$V_{pl,Rd} \geq 2 \cdot V_{Ed}$$

$$210,04 \text{ kN} > 54,28 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

$$\text{Využitie } 25,84 \%$$

Nie je nutné redukovať medzu klzu.

13.9.2 Posúdenie ohybu so vzperným tlakom

Posúdenie na kombináciu ohybového momentu so vzperným tlakom podľa (12.60).

V tabuľke 13.32 sú uvedené hodnoty návrhových únosností podľa 12.3.3 a návrhové vnútorné sily. Rozhodujúca kombinácia NC137.

Obsah kombinácie:

$$\text{NC137} = \text{ZS1} \cdot 1,00 + \text{ZS2} \cdot 1,00 + \text{ZS8} \cdot 1,50$$

Tabuľka 13.32 Nosník čelná stena nad otvorom – ohyb so vzperným tlakom

Veličina	Hodnota	Jednotka
N_{Ed}	-30,38	[kN]
$M_{Ed,y}$	79,76	[kNm]
$N_{b,Rd}$	131,16	[kNm]
$M_{y,Rd}$	68,98	[kNm]

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \leq 1$$

$$0,80 < 1,00 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

$$\text{Využitie } 80,42 \%$$

13.10 Nosník – čelná stena zvyšné (oceľová konštrukcia)

Navrhnutý profil IPE180 z ocele S355. Prvok bolo nutné posúdiť na posúvajúcu silu V_{Ed} 13.10.1 a zistiť o aký typ šmyku sa jedná a následne na kombináciu ohybu so vzperným tlakom 13.10.2.

V tabuľke 13.33 sú uvedené hodnoty prierezových veličín a v tabuľke 13.34 sú vypočítané hodnoty súčiniteľa vzperu χ_y a χ_z podľa 12.3.2.

Tabuľka 13.33 Nosník čelná stena – prierezové charakteristiky

Veličina	Hodnota	Jednotka
$W_{y,el}$	146329	[mm ³]
$W_{z,el}$	22165	[mm ³]
A	2395	[mm ²]
A_w	726	[mm ²]
i_y	74,16	[mm]
i_z	20,52	[mm]

Tabuľka 13.34 Nosník čelná stena – charakteristiky vzperu

Veličina	Hodnota	Jednotka
$L_{cr,y}$	3200	[mm]
$L_{cr,z}$	3200	[mm]
λ_1	93,9	[-]
λ_y	43,15	[-]
λ_z	155,93	[-]
$\lambda_{y,pomerna}$	0,46	[-]
$\lambda_{z,pomerna}$	1,66	[-]
ϕ_y	0,63	[-]
ϕ_z	2,03	[-]
χ_y	0,71	[-]
χ_z	0,21	[-]

13.10.1 Posúdenie šmyku

Posúdenie na maximálnu posúvajúcu silu $V_{E,d}$ podľa (12.56).

V tabuľke 13.35 je uvedená hodnota návrhovej únosnosti podľa (12.44) a návrhová hodnota vnútornej sily. Rozhodujúca kombinácia NC137.

Obsah kombinácie:

$$NC137 = ZS1 \cdot 1,00 + ZS2 \cdot 1,00 + ZS8 \cdot 1,50$$

Tabuľka 13.35 Nosník čelná stena - šmyk

Veličina	Hodnota	Jednotka
$V_{E,d}$	-16,33	[kN]
$V_{pl,Rd}$	178,15	[kN]

Posudok na malý šmyk

$$V_{pl,Rd} \geq 2 \cdot V_{Ed}$$

$$178,15 \text{ kN} > 32,66 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 18,33 %

Nie je nutné redukovať medzu klzu.

13.10.2 Posúdenie ohybu so vzperným tlakom

Posúdenie na kombináciu ohybového momentu so vzperným tlakom podľa (12.60).

V tabuľke 13.36 sú uvedené hodnoty návrhových únosností podľa 12.3.3 a návrhové vnútorné sily. Rozhodujúca kombinácia NC137.

Obsah kombinácie:

$$NC137 = ZS1 \cdot 1,00 + ZS2 \cdot 1,00 + ZS8 \cdot 1,50$$

Tabuľka 13.36 Nosník čelná stena – ohyb so vzperným tlakom

Veličina	Hodnota	Jednotka
N_{Ed}	-44,86	[kN]
$M_{Ed,y}$	-33,58	[kNm]
$N_{b,Rd}$	136,63	[kNm]
$M_{y,Rd}$	51,95	[kNm]

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \leq 1$$

$$0,97 < 1,00 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 97,47 %

14 Medzný stav použiteľnosti

Okrem únosnosti konštrukcie pri pôsobení zaťaženia musíme zabezpečiť bezproblémovú funkčnosť počas celej životnosti, estetickú stabilitu a elimináciu veľkých priehybov. Veľkosť pretvorenia sa posudzuje na účinky charakteristických zaťažení, skutočných profilov, priemerných modulov pružností $E_{0,mean}$ a modulov posunutí K_{ser} . Preto bolo potrebné vytvoriť druhý model konštrukcie s takýmito entitami.

Jednotlivé posudky boli spracované súborom, ktorý vytvoril autor diplomovej práce v [23].

14.1 Okamžitý a konečný priehyb drevených prvkov

Celkový okamžitý priehyb sa vypočíta podľa vzťahu (14.1).

$$w_{inst} = w_{inst,G} + w_{inst,Q} - w_c \quad (14.1)$$

kde $w_{inst,G}$ je okamžitý priehyb od stáleho zaťaženia

$w_{inst,Q}$ okamžitý priehyb od úžitného zaťaženia

w_c hodnota nadvýšenia nosníka

Posudok celkového okamžitého priehybu.

$$w_{inst} \leq w_{inst,max} \quad (14.2)$$

Celkový konečný priehyb sa vypočíta podľa vzťahu (14.3).

$$w_{net,fin} = w_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) + w_{inst,Q} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) \quad (14.3)$$

kde $w_{inst,G}$ je okamžitý priehyb od stáleho zaťaženia

$w_{inst,Q}$ okamžitý priehyb od úžitného zaťaženia

$\psi_{2,1}$ súčiniteľ pre kvázistálu hodnotu premenných zaťažení, 0,60 [-]

k_{def} súčiniteľ dotvarovania dreva, 0,80 [-]

Posudok celkového konečného priehybu.

$$w_{net,fin} \leq w_{max} \quad (14.4)$$

14.2 Priehyb ocel'ových prvkov

Celkový priehyb prvkov ocel'ovej konštrukcie sa vypočíta.

$$\delta_{\max} = \delta_1 + \delta_2 - \delta_0 \quad (14.5)$$

kde δ_{\max} je najväčší priehyb vzťahnutý k priamke spájajúce podpory

δ_0 nadvýšenie nosníku v nezaťaženom stave

δ_1 priehyb nosníka od stálych zaťažení bezprostredne po zaťažení

δ_2 súčet priehybov nosníkov od premenných zaťažení a časový nárast priehybov od stálych zaťažení

14.3 Konštrukcia haly

Posúdenie haly na vodorovný posun.

Celková deformácia $w_{\text{celkové}}$ 10,50 mm

Povolená deformácia bola zvolená $l/500$ - $w_{\text{dovolené}}$ 21,00 mm

Rozhodujúca kombinácia bola MSP80

Posudok celkového priehybu:

$$w_{\text{celkové}} < w_{\text{dovolené}}$$

$$10,50 \text{ mm} < 21,00 \text{ mm} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 50,00 %

14.4 Priečla

Nosník priečle bol posúdený na medzný stav použiteľnosti podľa 14.1. Hodnoty $w_{\text{inst,G}}$ a $w_{\text{inst,Q}}$ boli spočítané pomocou software Scia Engineer 17.1. Výsledky boli zhrnuté do tabuľky 14.1.

Hodnoty okamžitého priehybu od stáleho zaťaženia tvorí ZS1 + ZS2. Hodnoty okamžitého priehybu premenného zaťaženia tvorí ZS3.

Tabuľka 14.1 Priečla – posúdenie MSP

Veličina	Hodnota	Jednotka
L	13000,00	[mm]
$w_{inst,G}$	1,70	[mm]
$w_{inst,Q}$	2,80	[mm]
w_{inst}	4,50	[mm]
$w_{inst,max}$	43,33	[mm]
$w_{fin,G}$	3,06	[mm]
$w_{fin,Q}$	4,14	[mm]
w_{fin}	7,20	[mm]
$w_{fin,max}$	52,00	[mm]

Posudok okamžitého priehybu:

$$w_{inst} < w_{inst,max}$$

$$4,50 \text{ mm} < 43,33 \text{ mm} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 10,38 %

Posudok konečného priehybu:

$$w_{fin} < w_{fin,max}$$

$$7,20 \text{ mm} < 52,00 \text{ mm} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 13,85 %

14.5 Stojka

Stojka bola posúdená na medzný stav použiteľnosti podľa 14.1. Hodnoty $w_{inst,G}$ a $w_{inst,Q}$ boli spočítané pomocou software Scia Engineer 17.1. Výsledky boli zhrnuté do tabuľky 14.2.

Hodnoty okamžitého priehybu od stáleho zaťaženia tvorí ZS1 + ZS2. Hodnoty okamžitého priehybu premenného zaťaženia tvorí ZS3 + ZS11.

Tabuľka 14.2 Stojka – posúdenie MSP

Veličina	Hodnota	Jednotka
L	7500,00	[mm]
$w_{inst,G}$	10,60	[mm]
$w_{inst,Q}$	35,90	[mm]
w_{inst}	46,50	[mm]
$w_{inst,max}$	50,00	[mm]
$w_{fin,G}$	19,08	[mm]
$w_{fin,Q}$	43,77	[mm]
w_{fin}	62,85	[mm]
$w_{fin,max}$	75,00	[mm]

Posudok okamžitého priehybu:

$$w_{inst} < w_{inst,max}$$

$$46,50 \text{ mm} < 50,00 \text{ mm} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 93,00 %

Posudok konečného priehybu:

$$w_{fin} < w_{fin,max}$$

$$62,85 \text{ mm} < 75,00 \text{ mm} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 83,79 %

14.6 Stĺp čelná stena

Stĺp bol posúdený na medzný stav použiteľnosti podľa 14.2. Hodnoty δ_1 a δ_2 boli spočítané pomocou software Scia Engineer 17.1. Výsledky boli zhrnuté do tabuľky 14.3.

Hodnoty priehybu od stáleho zaťaženia netvorí žiaden stav, pretože sa jedná o vodorovný posun. Hodnoty priehybu od premenného zaťaženia tvorí ZS8.

Tabuľka 14.3 Stĺp čelná stena – posudok MSP

Veličina	Hodnota	Jednotka
δ_1	0,00	[mm ³]
δ_2	30,60	[mm ³]
δ_0	0,00	[mm ²]
δ_{max}	30,60	[mm]
δ_{lim}	32,00	[mm]

Posudok celkového priehybu

$$\delta_{\max} < \delta_{\lim}$$

$$30,60 \text{ mm} < 32,00 \text{ mm} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 95,63 %

14.7 Nosník čelná stena – nad otvorom

Stĺp bol posúdený na medzný stav použiteľnosti podľa 14.2. Hodnoty δ_1 a δ_2 boli spočítané pomocou software Scia Engineer 17.1. Výsledky boli zhrnuté do tabuľky 14.4.

Hodnoty priehybu od stáleho zaťaženia netvorí žiaden stav, pretože sa jedná o vodorovný posun. Hodnoty priehybu od premenného zaťaženia tvorí ZS8.

Tabuľka 14.4 Nosník čelná stena nad otvorom – posudenie MSP

Veličina	Hodnota	Jednotka
δ_1	0,00	[mm ³]
δ_2	19,70	[mm ³]
δ_0	0,00	[mm ²]
δ_{\max}	19,70	[mm]
δ_{\lim}	24,80	[mm]

Posudok celkového priehybu

$$\delta_{\max} < \delta_{\lim}$$

$$19,70 \text{ mm} < 24,80 \text{ mm} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 79,44 %

15 Všeobecné vzťahy pre stanovenie únosnosti drevených spojov

15.1 Svorníkový spoj – priečne namáhaný

15.1.1 Charakteristická únosnosť pre jeden strih jedného spojovacieho prostriedku

Charakteristická únosnosť klincov, svorníkov, kolíkov a skrutiek pre jeden strih jedného spojovacieho prostriedku $F_{v,Rk}$ sa má uvažovať ako najmenšia hodnota stanovená z nasledujúcich vzťahov.

Spoj oceľ - drevo

Pre oceľovú dosku ľubovoľnej hrúbky ako stredný prvok dvojstrižného spoja sa vypočíta:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d & (f) \\ f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (g) \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (h) \end{cases} \quad (15.1)$$

Pre tenkú oceľovú dosku ako vonkajší prvok jednostrizne namáhaného spoja platí:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} 0,4 \cdot f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d & (a) \\ 1,15 \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (b) \end{cases} \quad (15.2)$$

Pre hrubú oceľovú dosku ako vonkajší prvok jednostrizne namáhaného spoja platí:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d & (c) \\ f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (d) \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (e) \end{cases} \quad (15.3)$$

kde $f_{h,k}$ je charakteristická pevnosť v odtlačení v drevenom prvku podľa (15.9)

t_1 menšia hrúbka krajného dreveného prvku alebo hĺbka vniku

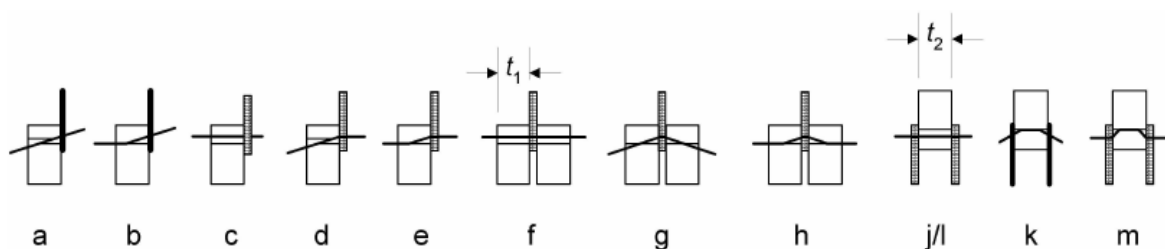
d priemer spojovacieho prostriedku

$M_{y,Rk}$ charakteristický plastický moment únosnosti spojovacieho prostriedku podľa

(15.7)

$F_{ax,Rk}$ charakteristická osová únosnosť spojovacieho prostriedku podľa (15.16)

Prvá časť výrazu je strihová únosnosť podľa Johansenovej teórie a druhá časť je účinok od zopnutia. Jednotlivé spôsoby porušenia sú uvedené na obrázku 15.1.



Obrázok 15.1 Spôsoby porušenia pre spoje oceľ-drevo zdroj [5]

Spoj drevo - drevo

Pre spojovacie prostriedky jednostrizne namáhané

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,1,k} t_1 d & (a) \\ f_{h,2,k} t_2 d & (b) \\ \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{1 + \beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right]} + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (c) \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (d) \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_2 d}{1 + 2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4\beta(1 + 2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (e) \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (f) \end{cases} \quad (15.4)$$

Pre spojovacie prostriedky dvojstrizne namáhané

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,1,k} t_1 d & (g) \\ 0,5 f_{h,2,k} t_2 d & (h) \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (j) \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (k) \end{cases} \quad (15.5)$$

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} \quad (15.6)$$

kde $f_{h,i,k}$ je charakteristická pevnosť v odtláčení v drevenom prvku i podľa (15.9)

t_i menšia hrúbka dreva alebo hĺbka vniku s i buď 1 alebo 2

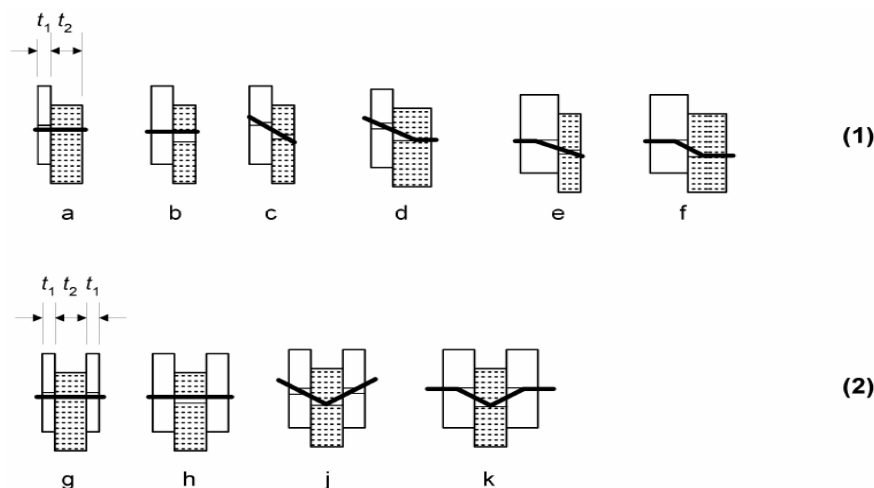
d priemer spojovacieho prostriedku

$M_{y,Rk}$ charakteristický plastický moment únosnosti spojovacieho prostriedku podľa (15.7)

β pomer medzi pevnosťami v odtlačení prvku podľa (15.6)

$F_{ax,Rk}$ charakteristická osová únosnosť spojovacieho prostriedku podľa (15.16)

Prvá časť výrazu je strihová únosnosť podľa Johansenovej teórie a druhá časť je účinok od zopnutia. Jednotlivé spôsoby porušenia sú uvedené na obrázku 15.2.



Legenda

(1) Jednostrižný spoj

(2) Dvojestrižný spoj

Obrázok 15.2 Spôsoby porušenia pre spoje z dreva a dosiek zdroj [5]

Charakteristická hodnota plastického momentu únosnosti sa spočíta ako:

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} \quad (15.7)$$

kde $f_{u,k}$ je charakteristická medza pevnosti v ťahu spojovacieho prostriedku

d priemer svorníka

Pre svorníky do priemeru 30 mm sa majú používať nasledujúce hodnoty charakteristickej pevnosti v odtlačení v dreve a LVL pre uhol α ku vláknam.

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (15.8)$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k \quad (15.9)$$

kde

$$k_{90} = \begin{cases} 1,35 + 0,015 \cdot d & \text{pre drevo ihličnatých drevín} \\ 1,30 + 0,015 \cdot d & \text{pre LVL} \\ 0,90 + 0,015 \cdot d & \text{pre drevo listnatých drevín} \end{cases}$$

a $f_{h,0,k}$ je charakteristická pevnosť v odtlačení rovnobežne s vláknami (15.9)

ρ_k charakteristická hustota dreva podľa 12.2.1

α uhol zaťaženia vzhľadom ku vláknam

d priemer svorníka

Charakteristická osová únosnosť $F_{ax,Rk}$ berie do úvahy účinkov zopnutia spoja. Pre jednotlivé typy spojovacích prostriedkov je zavedený limit, o ktorý sa môže navýšiť hodnota únosnosti v strihu. Táto hodnota bola uvažovaná len pri výpočte skrutiek. Pre skrutkový spoj dovoľuje norma [5] zvýšiť hodnotu priečnej únosnosti až o 100 %.

15.1.2 Návrhová únosnosť pre jeden strih jedného spojovacieho prostriedku

Návrhová únosnosť jedného strihu jedného spojovacieho prostriedku sa určí podľa vzťahu:

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M} \quad (15.10)$$

kde k_{mod} je modifikačný súčiniteľ podľa 12.2.1

γ_M delčí súčiniteľ vlastností materiálu podľa 12.2.1

15.1.3 Účinný počet svorníkov

Pre jednu radu tvorenú n svorníkmi v smere vlákien, sa má únosnosť rovnobežne s vláknami vypočítať s použitím účinného počtu svorníkov n_{ef} .

$$n_{ef} = \min \left\{ n, n^{0,9^4} \sqrt{\frac{a_1}{13 \cdot d}} \right\} \quad (15.11)$$

kde a_1 je rozteč medzi svorníkmi v smere vlákien stanovený podľa 15.1.4 alebo 15.3.4

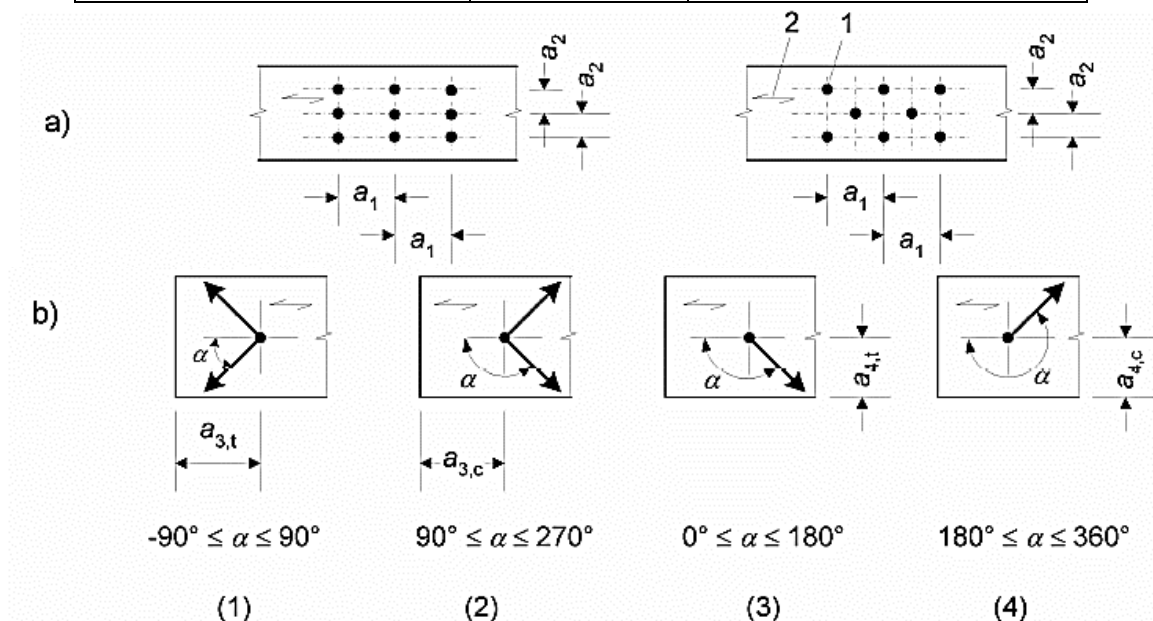
d priemer svorníka

n počet svorníkov v rade

15.1.4 Stanovenie minimálnych roztečí a vzdialeností

Tabuľka 15.1 Stanovenie minimálnych roztečí a vzdialeností

Rozteče a vzdialenosti od koncov/okrajov (viď obrázok 13.2)	Uhol	Minimálne rozteče alebo vzdialenosti
$^{\circ}a_1$ (rovnobežne s vláknami)	$0^{\circ} \leq \alpha \leq 360$	$(4 + \cos \alpha) \cdot d$
a_2 (kolmo na vlákna)	$0^{\circ} \leq \alpha \leq 360$	$4 \cdot d$
$a_{3,t}$ (zaťažený koniec)	$-90^{\circ} \leq \alpha \leq 90$	$\max(7 \cdot d; 80 \text{ mm})$
$a_{3,c}$ (nezaťažený koniec)	$90^{\circ} \leq \alpha \leq 150$ $150^{\circ} \leq \alpha \leq 210$ $210^{\circ} \leq \alpha \leq 270$	$(1 + 6 \cdot \sin \alpha) \cdot d$ $4 \cdot d$ $(1 + 6 \cdot \sin \alpha) \cdot d$
$a_{4,t}$ (zaťažený okraj)	$0^{\circ} \leq \alpha \leq 1800$	$\max [(2 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d; 3 \cdot d]$
$a_{4,c}$ (nezaťažený okraj)	$180^{\circ} \leq \alpha \leq 360$	$3 \cdot d$



Legenda

- (1) Zaťažený koniec
- (2) Nezaťažený koniec
- (3) Zaťažený okraj
- (4) Nezaťažený okraj
- 1 Spojovací prostriedok
- 2 Smer vlákien

Obrázok 15.3 Rozteče a vzdialenosti od koncov a okrajov zdroj [5]

(a) rozteče rovnobežne s vláknami v radi a kolmo ku vláknam medzi radami

(b) vzdialenosti od okrajov a koncov

15.1.5 Celková únosnosť spoja pri namáhaní rovnobežne s vláknami

$$R_{d,spoj} = F_{v,Rd} \cdot n_r \cdot n_{st} \cdot n_{ef} \quad (15.12)$$

kde n_r je počet rad spojovacích prostriedkov

n_{st} počet strihov spoja

n_{ef} účinný počet spojovacích prostriedkov

$F_{v,Rd}$ návrhová únosnosť jedného strihu jedného spojovacieho prostriedku podľa 15.1.1

Posúdenie musí spĺňať podmienku

$$R_{d,spoj} \geq N_{Ed} \quad (15.13)$$

kde N_{Ed} je maximálna normálová sila

15.2 Svorníkový spoj – osovo namáhaný

Osová únosnosť a únosnosť na vytiahnutie svorníka sa má uvažovať ako nižšia z hodnôt:

- únosnosť svorníka v ťahu
- únosnosť buď podložky alebo pre spoje (oceľ – drevo) oceľovej dosky

Únosnosť oceľovej podložky sa má vypočítavať za predpokladu, že charakteristická pevnosť v tlaku na dotykovej ploche je $3,00 \cdot f_{c,90,k}$

15.2.1 Únosnosť svorníka v ťahu

Ťahová únosnosť svorníkového spoja:

$$F_{t,s,d} = \frac{A_s \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \cdot n \quad (15.14)$$

kde A_s je plocha jadra svorníka

f_u medza pevnosti svorníka

n počet svorníkov

Podmienka posúdenia únosnosti svorníka v ťahu

$$F_{t,s,d} \leq N_{Ed} \quad (15.15)$$

kde $F_{t,s,d}$ je návrhová ťahová únosnosť svorníkového spoja (15.14)

N_{Ed} návrhová ťahová sila

15.3 Skrutkový spoj

15.3.1 Priečne zaťažené skrutky

Priečne zaťažené skrutky kde $d > 6$ mm sa navrhujú ako svorníky. Boli navrhnuté podľa 15.1.

15.3.2 Osovo zaťažené skrutky

Osovo zaťažené skrutky sa musia posúdiť na:

- vytiahnutie závitovej časti vrutu podľa (15.16)
- prorušenie na odtrhnutie hlavy vrutu pre vruty používané v kombinácií s oceľovými doskami, odolnosť na odtrhnutie hlavy vrutu má byť väčšia ako pevnosť vrutu v ťahu
- porušenie vrutu ťahom podľa
- porušenie na pretlačenie hlavy vrutu
- porušenie po obvode skupiny vrutov použitých v kombinácií s oceľovými doskami na blokový šmyk podľa (16.13)

Charakteristická únosnosť na vytiahnutie sa má uvažovať takto:

$$F_{ax,\alpha,Rk} = \frac{n_{ef} \cdot f_{ax,k} \cdot d \cdot l_{ef} \cdot k_d}{1,2 \cdot \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \quad (15.16)$$

kde

$$f_{ax,k} = 0,52 \cdot d^{-0,5} \cdot l_{ef}^{-0,1} \cdot \rho_k^{0,8} \quad (15.17)$$

$$k_d = \min \left\{ \frac{d}{8} \right. \quad (15.18)$$

$$l_{ef} = 0,6 \cdot l \quad (15.19)$$

$F_{ax,\alpha,Rk}$ je charakteristická únosnosť na vytiahnutie pod uhlom α ku vláknám

$f_{ax,k}$ charakteristická pevnosť na vytiahnutie kolmo ku vláknám (15.17)

n_{ef} účinný počet skrutiek podľa (15.22)

l_{ef} hĺbka zasahovania závitovej časti podľa (15.19)

ρ_k charakteristická hustota dreva podľa 12.2.1

α uhol medzi osou skrutky v smere vlákien

l dĺžka skrutky

Charakteristická únosnosť na vytiahnutie spojov s osovo zaťaženými skrutkami:

$$F_{ax,\alpha,Rk} = n_{ef} \cdot f_{head,k} \cdot d_h^2 \cdot \left(\frac{\rho_k}{\rho_a}\right)^{0,8} \quad (15.20)$$

kde $F_{ax,\alpha,Rk}$ je charakteristická únosnosť na vytiahnutie spoja pod uhlom α ku vláknam

$f_{head,k}$ charakteristický parameter skrutky na vytiahnutie

d_h priemer hlavy skrutky

Charakteristická únosnosť spoja v ťahu (odtrhnutie hlavy alebo ťahová únosnosť drieku):

$$F_{t,Rk} = n_{ef} \cdot f_{tens,k} \quad (15.21)$$

kde $f_{tens,Rk}$ je charakteristická únosnosť skrutky v ťahu

n_{ef} účinný počet skrutiek podľa (13.27)

Pre spoj so skupinou skrutiek zaťažených zložkou sily rovnobežne s driekom, je účinný počet skrutiek daný vzťahom:

$$n_{ef} = n^{0,9} \quad (15.22)$$

kde n je počet skrutiek pôsobiacich spoločne v spoji

15.3.3 Skrutky zaťažené súčasne priečne aj osovo

Pre skrutkové spoje vystavené kombinácií osového zaťaženia a priečneho zaťaženia, má byť splnená nasledujúca podmienka:

$$\left(\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}\right)^2 \leq 1 \quad (15.23)$$

kde $F_{ax,Rd}$ a $F_{v,Rd}$ sú návrhové únosnosti spoja zaťaženého osovým zaťažením alebo len priečnym zaťažením

15.3.4 Stanovenie minimálnych roztečí a vzdialenosti

Pre priečne zaťažené skrutky platia hodnoty uvedené v 15.1.4. Pre osovo zaťažené skrutky platia hodnoty podľa tabuľky 15.2.

Tabuľka 15.2 Hodnoty minimálnych roztečí a vzdialenosti od čela a okrajov pre osovo zaťažené vruty

Minimálne rozteče skrutiek v rovine rovnobežnej s vláknami	Minimálne rozteče skrutiek kolmo k rovine vlákien	Minimálna vzdialenosť ťažiska závitovej časti skrutky v prvku od čela	Minimálna vzdialenosť ťažiska od závitovej časti skrutky v prvku od okraja
a_1	a_2	$a_{1,CG}$	$a_{2,CG}$
$7 \cdot d$	$5 \cdot d$	$10 \cdot d$	$4 \cdot d$

16 Všeobecné vzťahy pre určenie únosnosti ocelových spojov

16.1 Čapový spoj

Čapový spoj stužidiel bol navrhnutý podľa katalógu [12]. Čapový spoj vrcholového a pätného kĺbu bol navrhnutý podľa nasledujúcich vzťahov. Čapy boli navrhnuté ako nevymeniteľné.

Únosnosť čapu v strihu

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot A \cdot f_{up}}{\gamma_{M2}} \geq F_{v,Ed} \quad (16.1)$$

Únosnosť plechu a čapu v odtlačení

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot t \cdot d \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \geq F_{b,Ed} \quad (16.2)$$

Únosnosť čapu v ohybe

$$M_{Rd} = \frac{1,5 \cdot W_{el} \cdot f_{yp}}{\gamma_{M0}} \geq M_{Ed} \quad (16.3)$$

Únosnosť čapu na kombináciu strihu a ohybu

$$\left[\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right]^2 \leq 1 \quad (16.4)$$

kde d je priemer čapu

f_y nižšia z medze klzu čapu a spojovanej časti

f_{up} medza pevnosti čapu

f_{yp} medza klzu čapu

t hrúbka spojovanej časti

A plocha prierezu čapu

16.2 Únosnosť šróbu vo šmyku

16.2.1 Návrhová únosnosť jedného šróbu v strihu v závite

Výsledné zaťaženie na jeden šrób sa vypočíta ako:

$$F_{v,Ed} = \sqrt{F_v^2 + F_h^2} \quad (16.5)$$

kde F_v je zvislá sila

F_h vodorovná sila

Návrhová únosnosť jedného šróbu sa vypočíta ako:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} \quad (16.6)$$

kde α_v je súčiniteľ

f_{ub} medza pevnosti šróbu

A plocha jadra šróbu

16.2.2 Posúdenie únosnosti šróbu v strihu

$$F_{v,Ed} \leq \min(F_{v,Rd}; F_{b,Rd}) \quad (16.7)$$

kde $F_{v,Rd}$ je únosnosť šróbu v strihu podľa (16.6)

$F_{b,Rd}$ únosnosť v odtlačení podľa (16.10)

$F_{v,Ed}$ návrhová strihová sila

16.3 Únosnosť ocelevej dosky

16.3.1 Návrhová únosnosť v odtlačení

Odtlačenie styčnickového plechu (rovnakým spôsobom aj odtlačenie pripojovaného nosníka)

$$k_1 = \min \left\{ 2,50; 2,80 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,70 \right\} \quad (16.8)$$

$$\alpha_b = \min \begin{cases} 1,00 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} \\ \frac{e_1}{3 \cdot d_0} \\ \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} \end{cases} \quad (16.9)$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} \quad (16.10)$$

kde e_1 je vzdialenosť stredu otvoru spojovacieho prostriedku ku príslušnému koncu akejkoľvek časti, ktorá sa meria v smere zaťaženia

e_2 vzdialenosť stredu otvoru spojovacieho prostriedku ku príslušnému koncu akejkoľvek časti, ktorá sa meria v pravom uhle ku smeru zaťaženia

d priemer skrutky, svorníka

d_0 priemer otvoru pre spojovací prostriedok

f_u medza pevnosti ocelej dosky

$f_{u,b}$ medza pevnosti spojovacieho prostriedku

p_1 návrhová únosnosť jedného strihu jedného spojovacieho prostriedku

γ_{M2} dielčí súčiniteľ spoľahlivosti materiálu oslabeného otvormi

Podmienka posúdenia v odtlačení ocelej dosky

$$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd} \quad (16.11)$$

16.3.2 Porušenie blokovým šmykom

Porušenie blokovým šmykom sa vypočíta ako:

$$V_{eff,Rd} = \frac{0,5 \cdot f_{u,b} \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{f_{y,b} \cdot A_{nv}}{\gamma_{M0}} \quad (16.12)$$

kde A_{nt} je oslabená plocha prenášajúca ťahovú silu

A_{nv} je oslabená plocha prenášajúca šmykovú silu

$f_{u,b}$ medza pevnosti ocelej dosky

$f_{y,b}$ medza klzu ocelej dosky

Podmienka posúdenia na blokový šmyk

$$V_{eff,Rd} \geq V_{Ed} \quad (16.13)$$

16.3.3 Únosnosť ocelejovej dosky na pretlačenie hlavy skrutky alebo matice

Únosnosť ocelejovej dosky na pretlačenie hlavy skrutky alebo matice.

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \quad (16.14)$$

kde d_m je menšia z hodnôt priemeru priečných vzdialeností rohu a hrán, ktoré sa stanovujú na hlave a matici svorníka, skrutky
 f_u medza pevnosti ocelejovej dosky

Podmienka posúdenia na pretlačenie hlavy skrutky alebo matice

$$B_{p,Rd} \geq F_{t,Ed} \quad (16.15)$$

kde

$$F_{t,Ed} = \frac{N_{Ed}}{n_k} \quad (16.16)$$

kde N_{Ed} je návrhová normálová sila
 n_k počet spojovacích prostriedkov

16.3.4 Únosnosť ocelejovej dosky na prostý ohyb

$$M_{Ed} \leq M_{Rd} \quad (16.17)$$

kde M_{Ed} je návrhový ohybový moment
 M_{Rd} únosnosť v prostom ohybe

16.4 Kútový zvar

Návrhová únosnosť kútových zvarov s uvažovaným smerom namáhania [13], kde sa sily rozkladajú do zložiek rovnobežných a priečných vzhľadom k osi zvaru a zložiek kolmých a priečných vzhľadom k účinnej rovine zvaru (obrázok 16.1). Tieto zložky napätosti (zložka normálového napätia rovnobežného s osou zvaru $\sigma_{||}$ sa zanedbáva) obojstranných kútových zvarov sa vypočítajú podľa vzťahov (16.18) až (16.20). Pre únosnosť kútového zvaru musia byť splnené podmienky (16.21) a (16.22).

Doporučená účinná výška zvaru.

Tabuľka 16.1 Doporučená účinná výška zvaru

Hrúbka spojovacích prvkov t [mm]	Najmenšia účinná výška kútového zvaru a [mm]
do 10	3,00
od 11 do 20	4,00
od 21 do 30	5,00
31 a viac	6,00

Minimálna dĺžka zvaru

$$l_{\min} = \min \left\{ \begin{array}{l} 30 \\ 6 \cdot a \end{array} \right. \quad (16.18)$$

Výpočet šmykového napätia (v účinnej rovine prierezu) kolmej na os zvaru

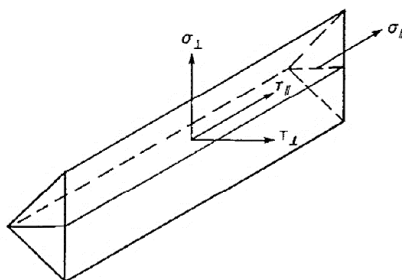
$$\tau_{II} = \frac{F_{II,Ed}}{A_w} \quad (16.19)$$

Výpočet normálového napätia v zware

$$\sigma_w = \frac{F_{II,Ed} \cdot e}{W_w} + \frac{F_{L,Ed}}{A_w} \quad (16.20)$$

Normálové napätie kolmé na účinný rozmer zvaru (šmykové napätie kolmé na os zvaru)

$$\sigma_1 = \tau_1 = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} \quad (16.21)$$



Obrázok 16.1 Napätie v účinnom priereze kútového zvaru [13]

16.4.1 Podmienky posúdenia kútového zvaru

Únosnosť kútového zvaru je dostatočná ak sú splnené nasledujúce podmienky.

$$\sqrt{[\sigma_1^2 + 3 \cdot (\tau_1^2 + \tau_{II}^2)]} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad (16.22)$$

$$\sigma_1 \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} \quad (16.23)$$

17 Návrh a posúdenie spojov

Najcitlivejšou časťou drevených konštrukcií sú spoje, ktoré priamo ovplyvňujú únosnosť riešenej konštrukcie. Detailná znalosť chovania spojov umožňuje ich vhodný návrh a tým aj hospodárnosť celej konštrukcie.

Spoje drevených konštrukcií boli posúdené podľa normy [5] a spoje oceľových konštrukcií boli posúdené podľa normy [12].

Jednotlivé posudky boli spracované súborom, ktorý vytvoril autor diplomovej práce v [23].

17.1 Spoj rámovej stojky a rámovej priečle

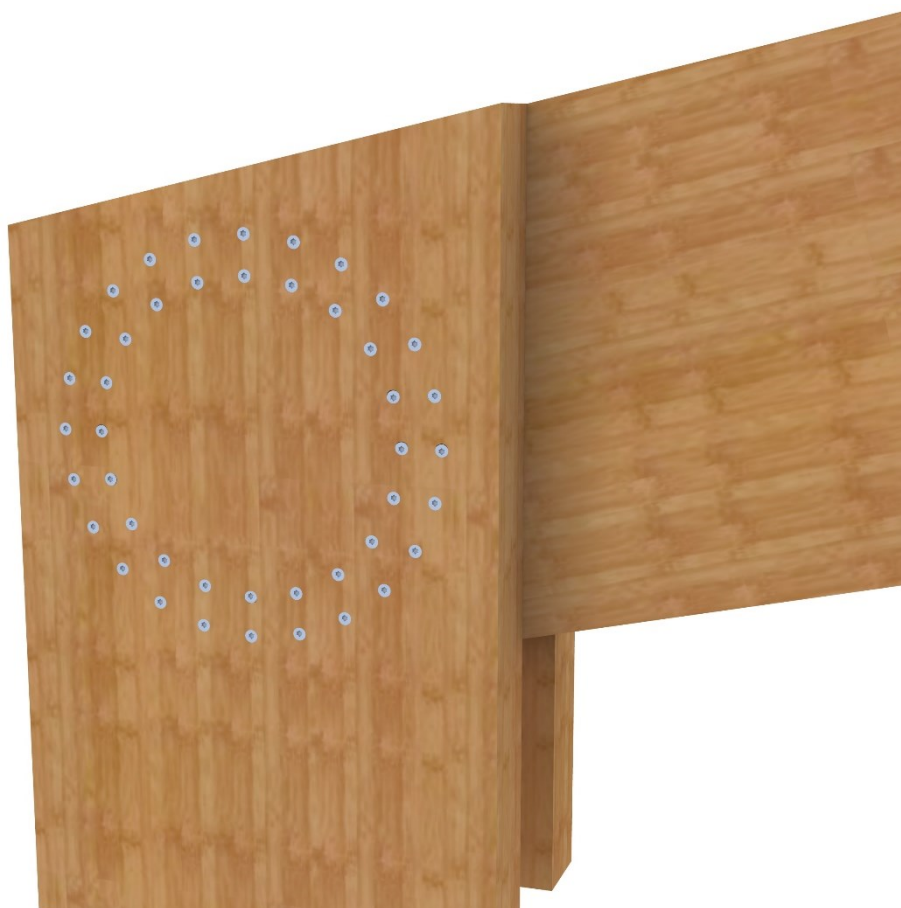
Jedná sa o ohybovo tuhý spoj 4.1 priečle a dvojdielnej stojky, kde priečla je vsunutá medzi oba diely stojky. Styk je realizovaný pomocou skrutiek triedy 10.9 o priemere 11 mm. Skrutky sú usporiadané do dvoch sústredených kruhov o polomeroch $r_1 = 273$ mm (24 ks) a $r_2 = 218$ mm (20 ks). Detail spoja je priložený vo výkresovej dokumentácii.

V normových podkladoch [5] nie sú uvedené minimálne vzdialenosti spojovacích prostriedkov momentových spojov. Boli preto navrhnuté podľa odporúčaní odbornej literatúry [2] zvolené rozmery uvedené v 4.4. Zaťaženie na spojovacie prostriedky bolo stanovené podľa 4.1.

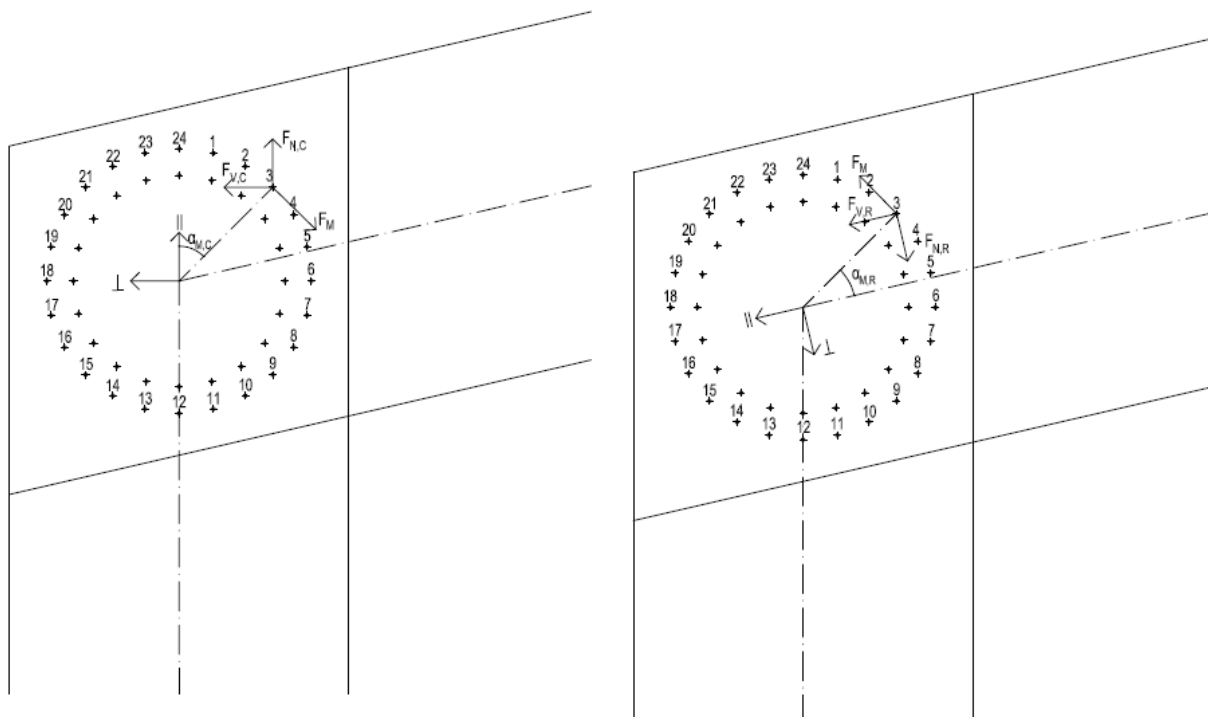
Vizualizácia spoja je zobrazená na obrázku obrázku 17.1.

V tabuľke 17.1 sú zobrazené návrhové hodnoty vnútorných síl, kombinácia NC27. V Tabuľka 17.2 je zobrazená geometria spájaných prvkov a rozpätie haly. V tabuľke 17.3 je zobrazená geometria spoja a jeho únosnosť a v tabuľke 17.4 je zobrazené výsledné zaťaženie spojovacieho prostriedku od vnútorných síl. Pre spoj bol prevedený aj jednotlivý posudok vonkajších spojovacích prostriedkov zobrazených v tabuľke 17.5 a tabuľke 17.6. Z tabuľky 17.6 vyplýva, že najviac zaťažený spojovací prostriedok nesie označenie č.12 (obrázok 17.2).

Pre porovnanie skrutkového spoja so svorníkovým bola vytvorená štúdia, ktorá pozorovala pri rovnakej únosnosti spoja, pri zvolení rôzneho spojovacieho prostriedku, množstvo spotrebovaných spojovacích prostriedkov a dreva. Toto porovnávanie je uvedené v prílohe PIV.



Obrázok 17.1 Rámový roh - vizualizácia



Obrázok 17.2 Rozdelenie zaťaženia s očíslovaním spojovacích prostriedkov vonkajšieho kruhu
a) pre posudok v ose stojky; b) pre posudok v ose priečle

Obsah kombinácie:

$$NC27 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS3 \cdot 1,50 + ZS10 \cdot 0,90$$

Tabuľka 17.1 Návrhové hodnoty vnútorných síl

Veličina	Hodnota	Jednotka
M_{Ed}	-170,64	[kNm]
$V_{Ed,C}$	-34,22	[kN]
$N_{Ed,C}$	-69,36	[kN]
$V_{Ed,R}$	54,65	[kN]
$N_{Ed,R}$	-41,31	[kN]

Tabuľka 17.2 Geometria rámovej priečle a stojky, rozpätie

Veličina	Hodnota	Jednotka
L	13,00	[m]
h_R	700,00	[mm]
b_R	180,00	[mm]
h_C	700,00	[mm]
b_C	240,00	[mm]
α	13,00	[°]

Tabuľka 17.3 Geometria spoja a únosnosť spoja

Veličina	Hodnota	Jednotka
r_1	273,00	[mm]
r_2	218,00	[mm]
n_1	24,00	[ks]
n_2	20,00	[ks]
t_1	120	[mm]
t_2	180	[mm]
$F_{v,Rd}$	21,27	[kN]

Tabuľka 17.4 Zataženie spojovacieho prostriedku od vnútornej sily

Veličina	Hodnota	Jednotka
F_M	17,01	[kN]
$F_{V,C}$	0,78	[kN]
$F_{N,C}$	1,58	[kN]
$F_{V,R}$	1,24	[kN]
$F_{N,R}$	0,94	[kN]
V_M	216,38	[kN]
$F_{V,Ed,C}$	17,78	[kN]
$F_{V,Ed,R}$	18,25	[kN]

Spojovací prostriedok musí spĺňovať podmienku únosnosti.

$$F_{V,Ed,R} \leq F_{V,Rd} \quad (17.1)$$

18,25 kN < 21,27 kN → Vyhovuje

Využitie 85,81 %

Tabuľka 17.5 Zaťaženie jednotlivých spojovacích prostriedkov

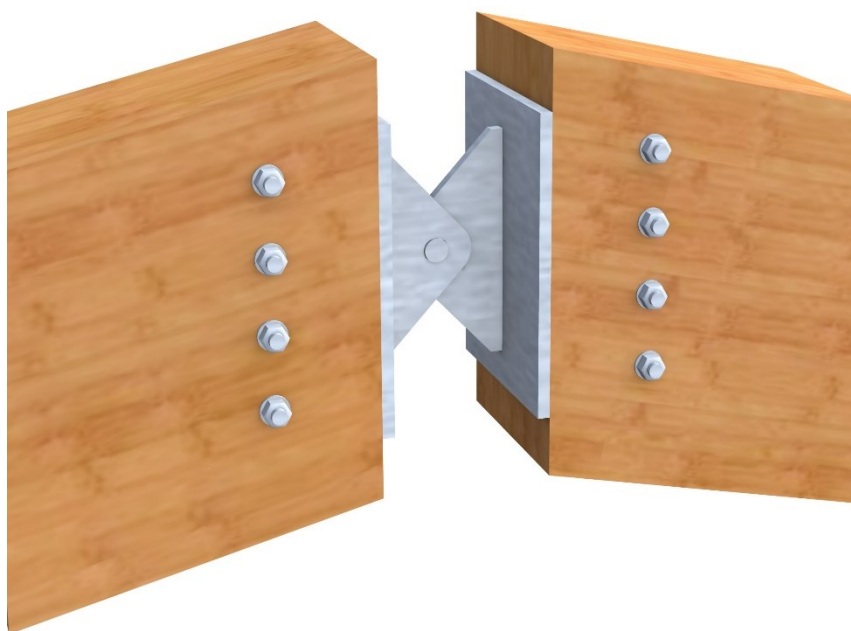
číslo vrutu	$\alpha_{M,C}$ [°]	$\alpha_{M,R}$ [°]	x [mm]	y [mm]	$F_{Ed,C,k}$ [kN]	$F_{Ed,C,r}$ [kN]	$F_{Ed,R,k}$ [kN]	$F_{Ed,R,r}$ [kN]	$F_{Ed,C}$ [kN]	$F_{Ed,R}$ [kN]	$\alpha_{F,C}$ [°]	$\alpha_{F,R}$ [°]
1	15	92	70,66	263,70	17,21	-2,83	0,65	-16,06	17,44	16,07	99,33	177,69
2	30	107	136,50	236,42	15,51	-6,93	-3,73	-15,32	16,98	15,77	114,07	166,32
3	45	122	193,04	193,04	12,80	-10,45	-7,77	-13,48	16,53	15,56	129,22	150,05
4	60	137	236,42	136,50	9,28	-13,15	-11,20	-10,66	16,10	15,46	144,79	133,59
5	75	152	263,70	70,66	5,18	-14,85	-13,77	-7,05	15,73	15,47	160,77	117,09
6	90	167	273,00	0,00	0,78	-15,43	-15,33	-2,89	15,45	15,60	177,11	100,67
7	105	182	263,70	-70,66	-3,62	-14,85	-15,75	1,53	15,29	15,83	166,29	84,44
8	120	197	236,42	-136,50	-7,73	-13,15	-15,02	5,91	15,25	16,14	149,57	68,52
9	135	212	193,04	-193,04	-11,25	-10,45	-13,18	9,95	15,35	16,52	132,89	52,95
10	150	227	136,50	-236,42	-13,95	-6,93	-10,36	13,38	15,58	16,92	116,41	37,75
11	165	242	70,66	-263,70	-15,65	-2,83	-6,74	15,96	15,90	17,32	100,23	22,91
12	180	257	0,00	-273,00	-16,23	1,58	-2,58	17,51	16,31	17,70	84,45	8,39
13	195	272	-70,66	-263,70	-15,65	5,98	1,84	17,94	16,75	18,03	69,09	5,84
14	210	287	-136,50	-236,42	-13,95	10,08	6,21	17,20	17,21	18,29	54,15	19,86
15	225	302	-193,04	-193,04	-11,25	13,60	10,25	15,36	17,65	18,47	39,59	33,72
16	240	317	-236,42	-136,50	-7,73	16,30	13,68	12,54	18,04	18,56	25,35	47,50
17	255	332	-263,70	-70,66	-3,62	18,00	16,26	8,92	18,36	18,55	11,38	61,24
18	270	347	-273,00	0,00	0,78	18,58	17,81	4,76	18,60	18,44	2,40	75,03
19	285	2	-263,70	70,66	5,18	18,00	18,24	0,35	18,73	18,24	16,05	88,92
20	300	17	-236,42	136,50	9,28	16,30	17,51	-4,03	18,76	17,96	29,65	102,97
21	315	32	-193,04	193,04	12,80	13,60	15,66	-8,07	18,68	17,62	43,27	117,27
22	330	47	-136,50	236,42	15,51	10,08	12,84	-11,50	18,49	17,24	56,97	131,85
23	345	62	-70,66	263,70	17,21	5,98	9,23	-14,08	18,21	16,83	70,84	146,76
24	360	77	0,00	273,00	17,78	1,58	5,07	-15,63	17,85	16,43	84,93	162,04

Tabuľka 17.6 Posudok jednotlivých spojovacích prostriedkov

α_1 [°]	α_2 [°]	$f_{h,1,k}$ [MPa]	$f_{h,2,k}$ [MPa]	β [-]	$F_{v,Rk}$					$F_{v,Rd}$ [kN]	Posudok	Využitie [%]
					1 [kN]	2 [kN]	3 [kN]	Fax [kN]	4[kN]	Fax [kN]		
80,67	3,67	19,09	27,68	0,69	25,20	27,40	9,40	6,93	8,33	6,93	Vyhovuje	73,14
65,93	11,07	19,99	27,26	0,73	26,38	26,99	9,91	6,93	8,68	6,93	Vyhovuje	70,19
50,78	26,22	21,68	25,42	0,85	28,62	25,17	10,99	6,93	9,43	6,93	Vyhovuje	66,08
35,21	41,79	24,02	22,99	1,04	31,71	22,76	12,49	6,93	10,45	6,93	Vyhovuje	61,76
19,23	57,77	26,40	20,81	1,27	34,85	20,60	14,04	6,93	11,47	6,93	Vyhovuje	58,41
2,89	74,11	27,70	19,39	1,43	36,56	19,20	14,92	6,93	12,04	6,93	Vyhovuje	57,09
13,71	63,29	27,03	20,23	1,34	35,67	20,03	14,45	6,93	11,73	6,93	Vyhovuje	58,91
30,43	46,57	24,78	22,27	1,11	32,71	22,05	12,98	6,93	10,78	6,93	Vyhovuje	63,31
47,11	29,89	22,19	24,86	0,89	29,29	24,61	11,31	6,93	9,65	6,93	Vyhovuje	69,16
63,59	13,41	20,20	27,06	0,75	26,66	26,79	10,04	6,93	8,77	6,93	Vyhovuje	74,85
79,77	2,77	19,12	27,70	0,69	25,24	27,43	9,41	6,93	8,34	6,93	Vyhovuje	78,79
95,55	18,55	18,99	26,49	0,72	25,06	26,22	9,43	6,93	8,40	6,93	Vyhovuje	80,18
110,91	33,91	19,73	24,23	0,81	26,04	23,98	10,01	6,93	8,88	6,93	Vyhovuje	79,20
125,85	48,85	21,24	21,95	0,97	28,04	21,73	11,05	6,93	9,65	6,93	Vyhovuje	76,64
140,41	63,41	23,33	20,22	1,15	30,79	20,01	12,37	6,93	10,55	6,93	Vyhovuje	73,39
154,65	77,65	25,55	19,21	1,33	33,73	19,02	13,73	6,93	11,40	6,93	Vyhovuje	70,32
168,62	91,62	27,24	18,93	1,44	35,96	18,75	14,71	6,93	11,96	6,93	Vyhovuje	68,71
177,60	100,60	27,71	19,14	1,45	36,58	18,94	14,95	6,93	12,08	6,93	Vyhovuje	67,59
163,95	176,95	26,78	27,70	0,97	35,35	27,42	13,60	6,93	10,83	6,93	Vyhovuje	71,35
150,35	163,35	24,90	26,71	0,93	32,87	26,45	12,65	6,93	10,34	6,93	Vyhovuje	72,23
136,73	149,73	22,76	24,80	0,92	30,04	24,55	11,63	6,93	9,85	6,93	Vyhovuje	72,95
123,03	136,03	20,90	22,65	0,92	27,59	22,43	10,79	6,93	9,45	6,93	Vyhovuje	73,08
109,16	122,16	19,60	20,80	0,94	25,87	20,59	10,24	6,93	9,20	6,93	Vyhovuje	72,46
95,07	108,07	18,98	19,53	0,97	25,05	19,33	10,01	6,93	9,13	6,93	Vyhovuje	71,08

17.2 Vrcholový klb

Jedná sa o kľbové spojenie priečle vo vrchole priečnej väzby, ktoré je realizované prostredníctvom čapového ložiska. Priečla je k ložisku pripojená 4 svorníkmi M12 triedy 4.8 pomocou vloženého styčnickového plechu z ocele S355 hrúbky 8 mm. Styčnickový plech je privarený kútovým zvarom k čelnému plechu z ocele S355 hrúbky 10 mm. Čap je tvorený plechom triedy S355 hrúbky 10 mm a čapom triedy 8.8 priemeru 20 mm. Plechy čapu sú k čelným plechom privarené kútovým zvarom.



Obrázok 17.3 Vrcholový klb - vizualizácia

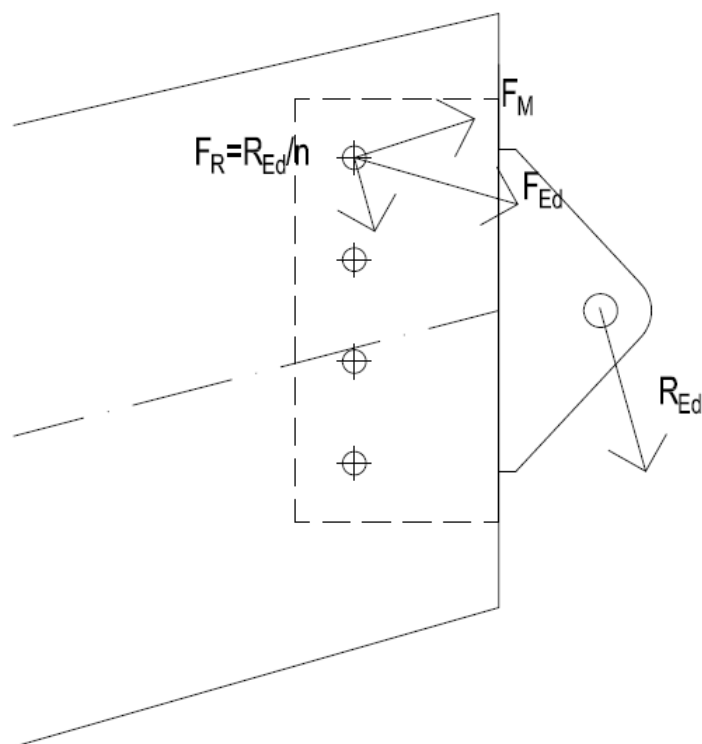
17.2.1 Návrh a posúdenie svorníkov

Svorníky sú namáhané posúvajúcou silou a prídavnou silou od ohybového momentu. Výsledné zaťaženie F_{Ed} je dané vektorovým súčtom oboch zložiek zaťaženia obrázok 17.4. Bol posúdený najviac namáhaný spojovací prostriedok, ktorý sa nachádza najďalej od stredu spoja. Únosnosť svorníka bola stanovená podľa 15.1.

Rozhodujúca kombinácia bola NC143

Prídavná sila od ohybového momentu sa vypočíta ako:

$$F_{M,1} = \frac{V_{Ed} \cdot e}{\sum_{i=1}^n \frac{r_i^2}{r_1}} \quad (17.2)$$



Obrázok 17.4 Rozdelenie síl pre posudok svorníkového spoja

Obsah kombinácie

$$NC143 = ZS1 \cdot 1,00 + ZS2 \cdot 1,00 + ZS14 \cdot 1,50$$

Tabuľka 17.7 Návrhové hodnoty vnútorných síl NC143

Veličina	Hodnota	Jednotka
$N_{E,d}$	31,42	[kN]
$V_{E,d}$	7,13	[kN]
$R_{E,d}$	32,22	[kN]

Tabuľka 17.8 Geometria spoja a únosnosť spoja

Veličina	Hodnota	Jednotka
r_1	170,00	[mm]
r_2	140,00	[mm]
r_3	140,00	[mm]
r_4	170,00	[mm]
e	145,00	[mm]
n	4,00	[ks]
$F_{v,Rd}$	14,54	[kN]

Tabuľka 17.9 Zaťaženie spojovacieho prostriedku od vnútornej sily

Veličina	Hodnota	Jednotka
F_R	8,05	[kN]
F_M	8,19	[kN]
$F_{E,d}$	11,49	[kN]

Spojovací prostriedok musí spĺňať podmienku únosnosti (17.1).

$$F_{Ed} \leq F_{v,Rd}$$

$$11,49 \text{ kN} < 14,54 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 78,99 %

17.2.2 Návrh a únosnosť styčnickového plechu

Styčnickový plech bol posúdený podľa 16.3.1. Posudok bol prevedený na rovnakú kombináciu ako 17.2.1.

Tabuľka 17.10 Čelná doska - materiálové a prierezové veličiny

Veličina	Hodnota	Jednotka
$f_{y,b}$	355,00	[MPa]
$f_{u,b}$	510,00	[MPa]
f_{uk}	800,00	[MPa]
t_p	8,00	[mm]
d	12,00	[mm]
d_0	13,00	[mm]
A_{nv}	668,00	[mm ²]
A_{nt}	724,00	[mm ²]
n_v	2,00	[ks]

Tabuľka 17.11 Oceľová doska - rozteče

Veličina	Hodnota	Jednotka
e_1	35,00	[mm]
e_2	35,00	[mm]
p_1	60,00	[mm]

Tabuľka 17.12 Čelná doska – návrhové sily a únosnosti

Veličina	Hodnota	Jednotka
V_{ed}	7,13	[kN]
$F_{v,Ed}$	1,78	[kN]
$F_{b,Rd}$	76,80	[kN]
$V_{eff,Rd}$	284,66	[kN]

Posúdenie na odtlačenie (16.11).

$$F_{b,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

$$1,78 \text{ kN} < 76,80 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 2,32 %

Styčnickový plech bol posúdený podľa 16.3.2. Posudok bol prevedený na rovnakú kombináciu ako 17.2.1.

Posúdenie na porušenie blokovým šmykom (16.13).

$$V_{Ed} \leq V_{eff,Rd}$$

$$7,13 \text{ kN} < 284,66 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 2,50 %

17.2.3 Návrh a posúdenie čelného plechu

Predpokladá sa, že tlak bude prenesený pomocou čelného plechu. Plech musí spĺňať podmienku (16.17). Plech bol posúdený na kombináciu NC27.

Obsah kombinácie:

$$NC27 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS3 \cdot 1,50 + ZS10 \cdot 0,90$$

Tabuľka 17.13 Čelný plech – prostý ohyb

Veličina	Hodnota	Jednotka
N_{Ed}	-58,45	[kN]
t_p	10,00	[mm]
b_p	180,00	[mm]
h_p	250,00	[mm]
$W_{y,el}$	4166,66	[mm ³]
M_{Ed}	1,35	[kNm]
M_{Rd}	1,48	[kNm]

Posúdenie na prostý ohyb (16.17).

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$

$$1,35 \text{ kNm} < 1,48 \text{ kNm} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 91,27 %

17.2.4 Návrh a posudok čapu

Návrhové sily na čap boli vypočítané a posúdené podľa 16.1 na kombináciu NC27.

Obsah kombinácie:

$$NC27 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS3 \cdot 1,50 + ZS10 \cdot 0,90$$

Tabuľka 17.14 Vnútorne sily

Veličina	Hodnota	Jednotka
N_{Ed}	-58,45	[kN]
V_{Ed}	-14,68	[kN]
F_{Ed}	60,27	[kN]

Tabuľka 17.15 Návrh a geometria čapu

Veličina	Hodnota	Jednotka
t_p	10,00	[mm]
d	20,00	[mm]
A	314,16	[mm ²]
d_0	21,00	[mm]
a	5,00	[mm]
b	10,00	[mm]
c	2,00	[mm]

Tabuľka 17.16 Únosnosti čapu

Veličina	Hodnota	Jednotka
$F_{v,Rd}$	120,64	[kN]
$F_{b,Rd}$	106,50	[kN]
M_{Rd}	0,75	[kNm]

Posúdenie únosnosti čapu v strihu (16.1).

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

$$60,27 \text{ kN} < 120,64 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 49,96 %

Posúdenie únosnosti plechu a čapu v odtlačení (16.2).

$$F_{b,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

$$60,27 \text{ kN} < 106,50 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 56,59 %

Posúdenie únosnosti čapu v ohybe (16.3).

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$

$$0,21 \text{ kNm} < 0,75 \text{ kNm} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 27,98 %

Posúdenie únosnosti čapu na kombináciu ohybu a strihu (16.4).

$$\left[\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right]^2 \leq 1$$

$$0,33 < 1,00 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 32,79 %

17.2.5 Návrh a posudok kútového zvaru čelného a styčnickového plechu

Kútový zvar bol navrhnutý podľa 16.4 a posúdený podľa 16.4.1. Bol zvolený obojstranný kútový zvar. Zvar bol posúdený na kombináciu NC143.

Obsah kombinácie

$$NC143 = ZS1 \cdot 1,00 + ZS2 \cdot 1,00 + ZS14 \cdot 1,50$$

Tabuľka 17.17 Návrhové vnútorné sily NC143

Veličina	Hodnota	Jednotka
N_{Ed}	31,42	[kN]
V_{Ed}	7,13	[kN]

Tabuľka 17.18 Charakteristiky a napätie v zware

Veličina	Hodnota	Jednotka
a	3,00	[mm]
l	250,00	[mm]
A_w	1500,00	[mm ²]
$W_{el,w}$	62500,00	[mm ³]
e	145	[mm]
β_w	0,90	[-]
τ_{II}	20,95	[MPa]
σ_w	77,65	[MPa]
τ_I	54,91	[MPa]
σ_I	54,91	[MPa]

Kútový zvar musí vyhovieť podmienkam únosnosti (16.22) a (16.23).

$$\sqrt{[\sigma_1^2 + 3 \cdot (\tau_1^2 + \tau_{II}^2)]} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$115,65 \text{ MPa} < 453,33 \text{ MPa} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 25,51 %

$$\sigma_1 \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$54,91 \text{ MPa} < 367,20 \text{ MPa} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 14,95 %

17.2.6 Posudok kútového zvaru čapového a čelného plechu

Kútový zvar bol navrhnutý podľa 16.4 a posúdený podľa 16.4.1. Bol zvolený obojstranný kútový zvar. Zvar bol posúdený na kombináciu NC143.

Obsah kombinácie

$$\text{NC143} = \text{ZS1} \cdot 1,00 + \text{ZS2} \cdot 1,00 + \text{ZS14} \cdot 1,50$$

Tabuľka 17.19 Návrhové vnútorné sily NC143

Veličina	Hodnota	Jednotka
N_{Ed}	31,42	[kN]
V_{Ed}	7,13	[kN]

Tabuľka 17.20 Charakteristiky a napätie v zvare

Veličina	Hodnota	Jednotka
a	3,00	[mm]
l	190	[mm]
A_w	1140,00	[mm ²]
$W_{el,w}$	36100,00	[mm ³]
e	145,00	[mm]
β_w	0,90	[-]
τ_{II}	27,56	[MPa]
σ_w	132,46	[MPa]
τ_I	93,66	[MPa]
σ_I	93,66	[MPa]

Kútový zvar musí vyhovieť podmienkam únosnosti (16.22) a (16.23).

$$\sqrt{[\sigma_1^2 + 3 \cdot (\tau_1^2 + \tau_{II}^2)]} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

193,31 MPa < 453,33 MPa → Vyhovuje

Využitie 42,64 %

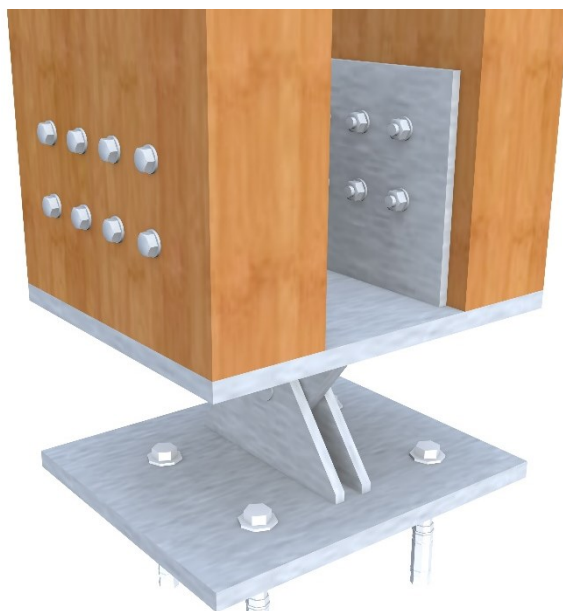
$$\sigma_1 \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

93,66 MPa < 367,20 MPa → Vyhovuje

Využitie 25,51 %

17.3 Pätný klb

Jedná sa o klbové spojenie stojky na železobetónovú základovú pätku, ktoré je prevedené prostredníctvom čapového ložiska. Stojka je k ložisku pripevnená 8 kusmi svorníkov M12 triedy pevnosti 4.8 pomocou vložených styčníkových plechov z ocele S355 hrúbky 10 mm. Tieto plechy sú navarené kútovým zvarom k čelnému plechu, ktorý je z ocele S355 hrúbky 20 mm. Navrhnutý čap je z ocele pevnosti 8.8 a má priemer 26 mm. vrchný plech čapu je z ocele S355 hrúbky 20 mm a ku čelnej doske je pripojený pomocou kútového zvaru. Spodné plechy čapu sú hrúbky 12 mm a k pätnému plechu sú z dôvodu zhotovenia pripojené ½ V zvarom.

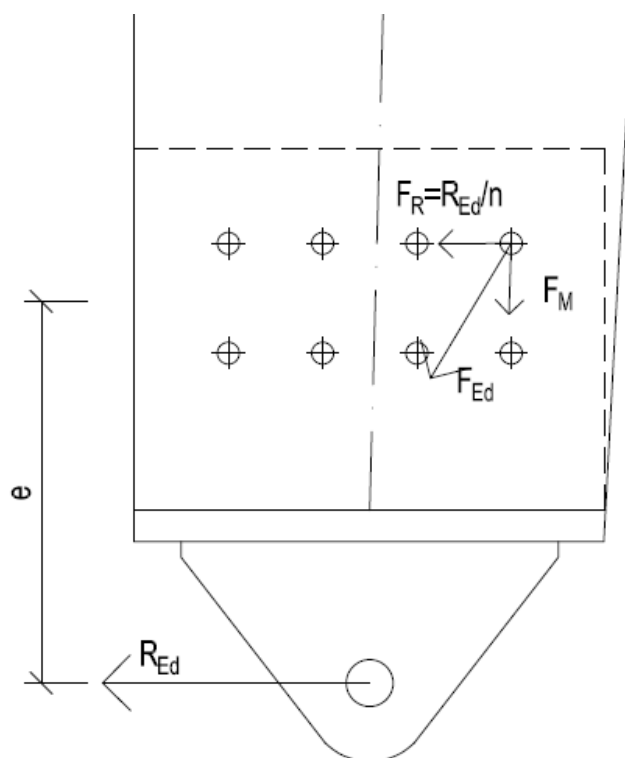


Obrázok 17.5 Pätný klb - vizualizácia

17.3.1 Návrh a posúdenie svorníkov

Svorníky sú namáhané posúvajúcou silou a prídavnou silou od ohybového momentu (17.2). Výsledné zaťaženie F_{Ed} je dané vektorovým súčtom oboch zložiek zaťaženia. Bol posúdený najviac namáhaný spojovací prostriedok, ktorý sa nachádza najďalej od stredu spoja. Únosnosť svorníka bola stanovená podľa 15.1.

Rozhodujúca kombinácia bola NC141.



Obrázok 17.6 Rozdelenie síl pre posudok svorníkového spoja

Obsah kombinácie

$$NC141 = ZS1 \cdot 1,00 + ZS2 \cdot 1,00 + ZS12 \cdot 1,50$$

Tabuľka 17.21 Návrhové hodnoty vnútorných síl NC141

Veličina	Hodnota	Jednotka
$V_{E,d}$	27,80	[kN]
$R_{E,d}$	27,80	[kN]

Tabuľka 17.22 Geometria spoja a únosnosť spoja

Veličina	Hodnota	Jednotka
$r_1 = r_4$	220,00	[mm]
$r_2 = r_3$	202,00	[mm]
$r_5 = r_8$	285,00	[mm]
$r_6 = r_7$	274,00	[mm]
e	235,00	[mm]
n	8,00	[ks]
$F_{v,Rd}$	7,26	[kN]

Tabuľka 17.23 Zataženie spojovacieho prostriedku od vnútornej sily

Veličina	Hodnota	Jednotka
F_R	3,25	[kN]
F_M	3,55	[kN]
$F_{v,Ed}$	4,81	[kN]

Spojovací prostriedok musí spĺňať podmienku únosnosti (17.1).

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

$$4,81 \text{ kN} < 7,26 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 66,25 %

17.3.2 Návrh a únosnosť styčniskového plechu

Styčniskový plech bol posúdený podľa 16.3. Posudok bol prevedený na rovnakú kombináciu ako 17.3.1.

Tabuľka 17.24 Styčniskový plech - materiálové a prierezové veličiny

Veličina	Hodnota	Jednotka
$f_{y,b}$	355,00	[MPa]
$f_{u,b}$	510,00	[MPa]
f_{uk}	800,00	[MPa]
t_p	10,00	[mm]
d	10,00	[mm]
d_0	11,00	[mm]
A_{nv}	1105,00	[mm ²]
A_{nt}	535,00	[mm ²]
n_v	8,00	[ks]

Tabuľka 17.25 Oceľová doska - rozteče

Veličina	Hodnota	Jednotka
e_1	60,00	[mm]
e_2	60,00	[mm]
p_1	60,00	[mm]

Tabuľka 17.26 Čelná doska – návrhové sily a únosnosti

Veličina	Hodnota	Jednotka
$V_{E,d}$	25,80	[kN]
$R_{E,d}$	27,80	[kN]
$F_{v,Ed}$	3,23	[kN]
$F_{b,Rd}$	96,00	[kN]
$V_{eff,Rd}$	335,62	[kN]

Posúdenie na odtlačenie (16.11).

$$F_{b,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

$$3,23 \text{ kN} < 96,00 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 3,36 %

Posúdenie na porušenie blokovým šmykom (16.13).

$$V_{Ed} \leq V_{eff,Rd}$$

$$25,80 \text{ kN} < 335,62 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 7,69 %

17.3.3 Návrh a posúdenie čelného plechu

Predpokladá sa, že tlak bude prenesený pomocou čelného plechu. Plech musí spĺňať podmienku (16.17). Plech bol posúdený na kombináciu NC116.

Obsah kombinácie:

$$NC116 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS3 \cdot 0,75 + ZS11 \cdot 1,50$$

Tabuľka 17.27 Čelný plech – prostý ohyb

Veličina	Hodnota	Jednotka
N_{Ed}	-73,26	[kN]
t_p	20,00	[mm]
b_p	150,00	[mm]
h_p	300,00	[mm]
$W_{y,el}$	20000,00	[mm ³]
M_{Ed}	5,59	[kNm]
M_{Rd}	7,10	[kNm]

Posúdenie prostého ohybu (16.17).

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$

$$5,59 \text{ kNm} < 7,10 \text{ kNm} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 77,39 %

17.3.4 Návrh a posudok čapu

Návrhové sily na čap boli vypočítané a posúdené podľa 16.1 na kombináciu NC27.

Obsah kombinácie:

$$NC27 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS3 \cdot 1,50 + ZS10 \cdot 0,90$$

Tabuľka 17.28 Vnútorne sily

Veličina	Hodnota	Jednotka
N_{Ed}	-146,52	[kN]
V_{Ed}	4,76	[kN]
F_{Ed}	146,59	[kN]

Tabuľka 17.29 Návrh a geometria čapu

Veličina	Hodnota	Jednotka
t_p	20,00	[mm]
d	26,00	[mm]
A	530,93	[mm ²]
d_0	27,00	[mm]
a	12,00	[mm]
b	20,00	[mm]
c	2,00	[mm]

Tabuľka 17.30 Únosnosti čapu

Veličina	Hodnota	Jednotka
$F_{v,Rd}$	203,88	[kN]
$F_{b,Rd}$	276,90	[kN]
M_{Rd}	1,66	[kNm]

Posúdenie únosnosti čapu v strihu (16.1).

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

$$146,59 \text{ kN} < 203,88 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 71,90 %

Posúdenie únosnosti plechu a čapu v odtlačení (16.2).

$$F_{b,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

$$146,59 \text{ kN} < 276,90 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 52,94 %

Posúdenie únosnosti čapu v ohybe (16.3).

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$

$$0,95 \text{ kNm} < 1,66 \text{ kNm} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 57,52 %

Posúdenie únosnosti čapu na kombináciu ohybu a strihu (16.4).

$$\left[\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right]^2 \leq 1$$

$$0,85 < 1,00 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 84,78 %

17.3.5 Návrh a posudok kútového zvaru čelného a styčnickového plechu

Kútový zvar bol navrhnutý podľa 16.4 a posúdený podľa 16.4.1. Bol zvolený obojstranný kútový zvar. Zvar bol posúdený na kombináciu NC137.

Obsah kombinácie

$$NC137 = ZS1 \cdot 1,00 + ZS2 \cdot 1,00 + ZS8 \cdot 1,50$$

Tabuľka 17.31 Návrhové vnútorné sily NC143

Veličina	Hodnota	Jednotka
N_{Ed}	25,92	[kN]
V_{Ed}	4,58	[kN]

Tabuľka 17.32 Charakteristiky a napätie v zvare

Veličina	Hodnota	Jednotka
a	3,00	[mm]
l	300,00	[mm]
A_w	1800,00	[mm ²]
$W_{el,w}$	90000,00	[mm ³]
e	235,00	[mm]
β_w	0,90	[-]
τ_{II}	14,40	[MPa]
σ_w	70,22	[MPa]
τ_{\perp}	49,56	[MPa]
σ_{\perp}	49,56	[MPa]

Kútový zvar musí vyhovieť podmienkam únosnosti (16.22) a (16.23).

$$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)]} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$102,40 \text{ MPa} < 453,33 \text{ MPa} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 22,59 %

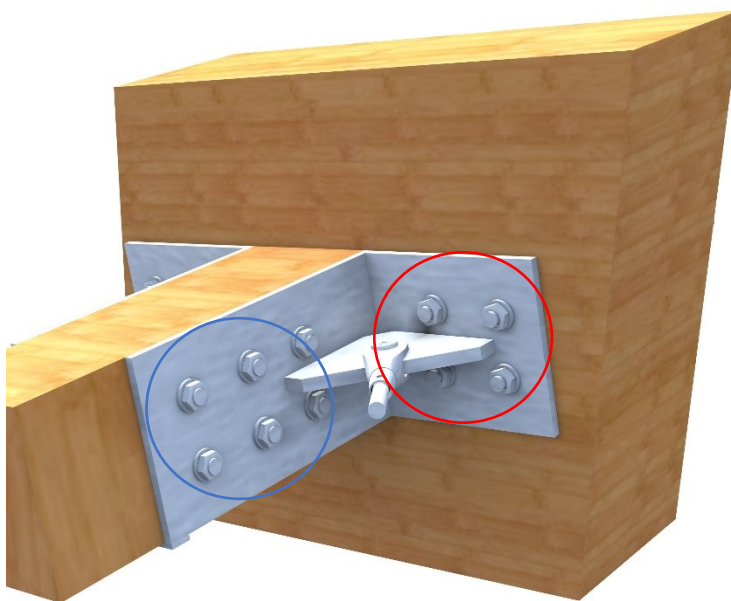
$$\sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$49,66 \text{ MPa} < 367,20 \text{ MPa} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 13,52 %

17.4 Spoj rozpery s priečlou

Jedná sa o spoj, ktorý spája rozperu s priečlou. V tomto spoji sa ďalej nachádza strešné stužidlo. Spoj je tvorený plechom triedy S355 hrúbky 8 mm tvaru L. Na časti pripevnenej ku priečli sa nachádzajú 4 svorníky M14 triedy pevnosti 4.8 a na časti priliehajúcej ku rozpere 6 ks svorníkov M14 triedy pevnosti 4.8.



Obrázok 17.7 Spoj rozpera priečla - vizualizácia

17.4.1 Návrh a posudok svorníkov

Vzhľadom k tomu, že v spoji je umiestnené stužidlo, vzniká v spoji okrem normálovej sily v rozpere aj normálová sila ktorá nie je v rovine rozpery. Preto bolo nutné túto normálovú silu rozdeliť na dve vzájomne kolmé sily pôsobiace na spoj. Na základe toho bol spoj rozdelený na dve časti. Prvá časť spájajúca plech s priečlou (obrázok 17.7, červený kruh) a na časť druhú, spájajúcu plech s rozperou (obrázok 17.7, modrý kruh). Tieto časti boli posúdené samostatne na najhoršie kombinácie.

Časť a)

Vzhľadom k tomu, že osová únosnosť svorníkov v takomto návrhu spoja je výraznejšie väčšia, boli svorníky posúdené len na strih. V tomto spoji bol svorník počítaný ako jednostrizný s hrubou oceľovou doskou podľa 15.1. Navrhnuté boli 2 kusy svorníkov M14 triedy 4.8. Rozhodujúca kombinácia bola NC116.

Obsah kombinácie:

$$NC116 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS3 \cdot 0,75 + ZS11 \cdot 1,50$$

Tabuľka 17.33 Návrh a posudok svorníkového spoja

Veličina	Hodnota	Jednotka
$V_{E,d}$	13,51	[kN]
$F_{v,Ed}$	6,76	[kN]
$F_{v,Rd}$	9,47	[kN]

Spojovací prostriedok musí spĺňať podmienku únosnosti (17.1).

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

$$6,76 \text{ kN} < 9,47 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 71,38 %

Časť b)

V tomto spoji bol svorník počítaný ako jednostrizný s hrubou oceľovou doskou podľa 15.1.

Navrhnuté boli 4 kusy svorníkov M14 triedy 4.8. Rozhodujúca kombinácia bola NC118.

Obsah kombinácie:

$$NC118 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS4 \cdot 0,75 + ZS11 \cdot 1,50$$

Tabuľka 17.34 Návrh a posudok svorníkového spoja

Veličina	Hodnota	Jednotka
$V_{E,d}$	20,63	[kN]
$F_{v,Ed}$	5,16	[kN]
$F_{v,Rd}$	9,47	[kN]

Spojovací prostriedok musí spĺňať podmienku únosnosti (17.1).

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

$$5,16 \text{ kN} < 9,47 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 54,49 %

Okrem jednostrizného namáhania musia svorníky odolať aj ťahovej sile, ktorá vzniká v rozpere a namáha tieto spojovacie prostriedky na strih. Vzhľadom k tomu, že ťahová sila v rozpere je väčšia ako tlaková je uvažovaný prenos tlakovej sily pomocou svorníkov. V tomto namáhaní boli posudzované ako dvojstrizné, hrubé oceľové dosky ako vonkajšie prvky dvojstrizných

prvkov podľa 15.1. Navrhnuté boli 4 kusy svorníkov M14 triedy 4.8. Rozhodujúca kombinácia bola NC116.

Obsah kombinácie:

$$NC116 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS3 \cdot 0,75 + ZS11 \cdot 1,50$$

Tabuľka 17.35 Návrh a posudok svorníkového spoja

Veličina	Hodnota	Jednotka
$V_{E,d}$	80,92	[kN]
$F_{v,Ed}$	20,23	[kN]
$F_{v,Rd}$	26,80	[kN]

Spojovací prostriedok musí spĺňať podmienku únosnosti (17.1).

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

$$20,23 \text{ kN} < 26,80 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

$$\text{Využitie } 75,49 \%$$

17.4.2 Návrh a únosnosť plechu

Časť a)

Plech bol posúdený podľa 16.3. Rozhodujúca kombinácia bola NC116.

Obsah kombinácie:

$$NC116 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS3 \cdot 0,75 + ZS11 \cdot 1,50$$

Tabuľka 17.36 Čelná doska - materiálové a prierezové veličiny

Veličina	Hodnota	Jednotka
$f_{y,b}$	355,00	[MPa]
$f_{u,b}$	510,00	[MPa]
f_{uk}	800,00	[MPa]
t_p	8,00	[mm]
d	14,00	[mm]
d_0	15,00	[mm]
A_{nv}	700,00	[mm ²]
A_{nt}	340,00	[mm ²]
n_v	2,00	[ks]

Tabuľka 17.37 Ocelová doska - rozteče

Veličina	Hodnota	Jednotka
e_1	30,00	[mm]
e_2	30,00	[mm]
p_1	40,00	[mm]

Tabuľka 17.38 Čelná doska – návrhové sily a únosnosti

Veličina	Hodnota	Jednotka
V_{ed}	20,63	[kN]
$F_{v,Ed}$	10,32	[kN]
$F_{b,Rd}$	89,60	[kN]
$V_{eff,Rd}$	212,83	[kN]

Posúdenie na odtlačenie (16.11).

$$F_{b,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

$$10,32 \text{ kN} < 89,60 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 11,51 %

Posúdenie na porušenie blokovým šmykom (16.13).

$$V_{Ed} \leq V_{eff,Rd}$$

$$20,63 \text{ kN} < 212,83 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 9,69 %

Časť b)

Plech bol posúdený podľa 16.3. Rozhodujúca kombinácia bola NC116.

Obsah kombinácie:

$$NC116 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS3 \cdot 0,75 + ZS11 \cdot 1,50$$

Tabuľka 17.39 Čelná doska - materiálové a prierezové veličiny

Veličina	Hodnota	Jednotka
$f_{y,b}$	355,00	[MPa]
$f_{u,b}$	510,00	[MPa]
f_{uk}	800,00	[MPa]
t_p	8,00	[mm]
d	14,00	[mm]
d_0	15,00	[mm]
A_{nv}	700,00	[mm ²]
A_{nt}	340,00	[mm ²]
n_v	2,00	[ks]

Tabuľka 17.40 Oceľová doska - rozteče

Veličina	Hodnota	Jednotka
e_1	30,00	[mm]
e_2	30,00	[mm]
p_1	40,00	[mm]

Tabuľka 17.41 Čelná doska – návrhové sily a únosnosti

Veličina	Hodnota	Jednotka
V_{ed}	80,92	[kN]
$F_{v,Ed}$	20,23	[kN]
$F_{b,Rd}$	89,60	[kN]
$V_{eff,Rd}$	212,83	[kN]

Posúdenie na odtlačenie (16.11).

$$F_{b,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

$$10,32 \text{ kN} < 89,60 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 22,58 %

Posúdenie na porušenie blokovým šmykom (16.13).

$$V_{Ed} \leq V_{eff,Rd}$$

$$80,92 \text{ kN} < 212,83 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

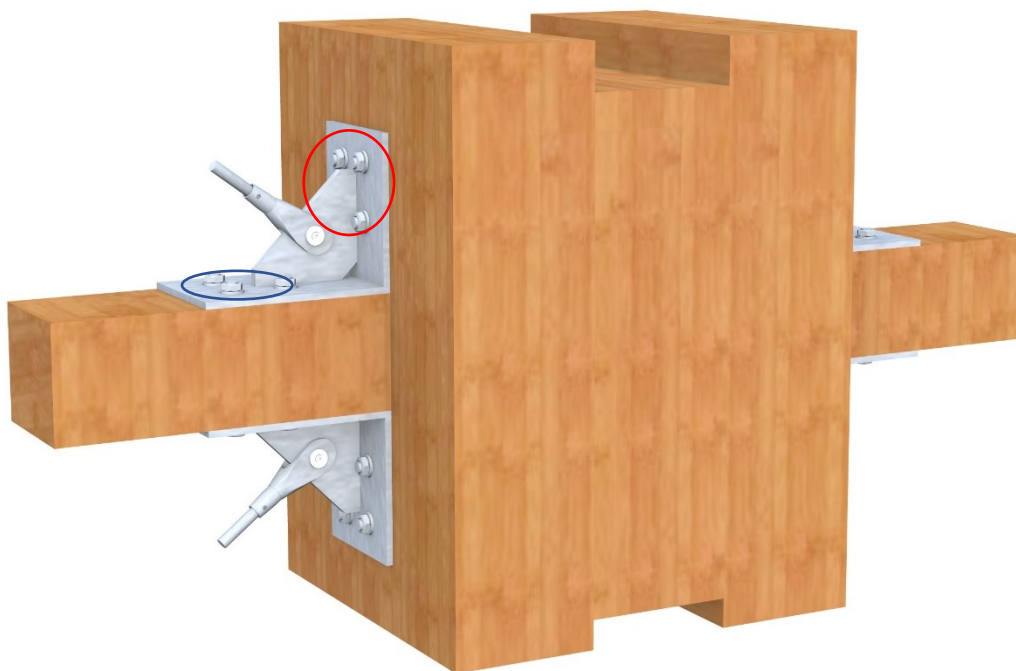
Využitie 38,02 %

17.4.3 Návrh čapu stužidla

Čap, stužidlo a tiež plech čapu bol navrhnutý podľa katalógu [12].

17.5 Spoj rozpery so stojkou

Jedná sa o spoj, ktorý spája rozperu so stojkou. V tomto spoji ďalej nachádza stenové stužidlo. Spoj je tvorený plechom triedy S355 hrúbky 8 mm tvaru L. Na časti pripevnenej ku stojke sa nachádzajú 4 svorníky M14 triedy pevnosti 4.8 a na časti priliehajúcej ku rozpere 4 ks svorníkov M14 triedy pevnosti 4.8. S prihliadnutím na fakt, že v týchto prvkoch sú výrazne nižšie návrhové hodnoty vnútorných síl bola časť a) navrhnutá rovnako ako 17.4, zostalo teda navrhnuť len časť b). Oceľové plechy v tomto spoji boli navrhnuté rovnako ako v 17.4. Na Obrázok 17.8 je zobrazená vizualizácia spoja.



Obrázok 17.8 Spoj rozpery s priečlou - vizualizácia

17.5.1 Návrh a posudok svorníkov

Vzhľadom k tomu, že v spoji je umiestnené stužidlo, vzniká v spoji okrem normálovej sily v rozpere aj normálová sila ktorá nie je v rovine rozpery. Preto bolo nutné túto normálovú silu rozdeliť na dve vzájomne kolmé sily pôsobiace na spoj. Na základe toho bol spoj rozdelený na dve časti. Prvá časť spájajúca plech s priečlou (obrázok 17.8, červený kruh) a na časť druhú, spájajúcu plech s rozperou (obrázok 17.8, modrý kruh). Tieto časti boli posúdené samostatne na najhoršie kombinácie.

Časť b)

V tomto spoji bol svorník počítaný ako jednostrizný s hrubou oceľovou doskou podľa 15.1. Navrhnuté boli 2 kusy svorníkov M14 triedy 4.8. Rozhodujúca kombinácia bola NC102.

Obsah kombinácie:

$$NC102 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS3 \cdot 0,75 + ZS6 \cdot 1,50$$

Tabuľka 17.42 Návrh a posudok svorníkového spoja

Veličina	Hodnota	Jednotka
$V_{E,d}$	12,48	[kN]
$F_{v,Ed}$	6,24	[kN]
$F_{v,Rd}$	9,47	[kN]

Spojovací prostriedok musí spĺňovať podmienku únosnosti (17.1).

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

$$6,24 \text{ kN} < 9,47 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 65,89 %

Okrem jednostrizného namáhania musia svorníky odolať aj ťahovej sile, ktorá vzniká v rozpere a namáha tieto spojovacie prostriedky na strih. Vzhľadom k tomu, že ťahová sila v rozpere je väčšia ako tlaková je uvažovaný prenos tlakovej sily pomocou svorníkov. V tomto namáhaní boli posudzované ako dvojstrizné, hrubé oceľové dosky ako vonkajšie prvky dvojstrizných prvkov podľa 15.1. Navrhnuté boli 4 kusy svorníkov M14 triedy 4.8. Rozhodujúca kombinácia bola NC174.

Obsah kombinácie:

$$NC174 = ZS1 \cdot 1,00 + ZS2 \cdot 1,00 + ZS5 \cdot 0,75 + ZS15 \cdot 1,50$$

Tabuľka 17.43 Návrh a posudok svorníkového spoja

Veličina	Hodnota	Jednotka
$V_{E,d}$	17,53	[kN]
$F_{v,Ed}$	8,77	[kN]
$F_{v,Rd}$	26,80	[kN]

Spojovací prostriedok musí spĺňovať podmienku únosnosti (17.1).

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

$$8,77 \text{ kN} < 26,80 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 32,72 %

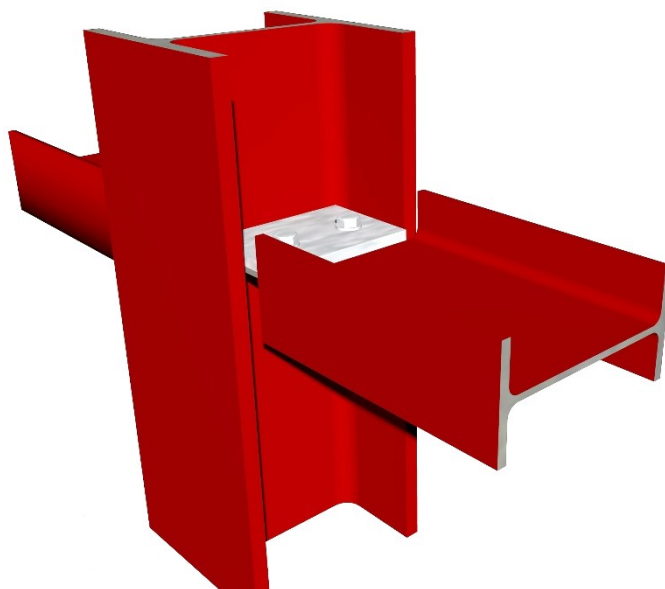
17.5.2 Návrh čapu stužidla

Čap, stužidlo a tiež plech čapu bol navrhnutý podľa katalógu [12].

17.6 Spoj ocelového stĺpa s ocelovým priečnikom

Jedná sa o spoj, ktorý spája ocelový stĺp HEB200 s priečnikom IPE180. Spoj bol uvažovaný ako klbový, preto bol navrhnutý „žiletkový spoj“ s dvoma šróbmi M12 triedy pevnosti 8.8 a plechom triedy S355 hrúbky 6 mm.

Na obrázku nižšie je zobrazená vizualizácia spoja.



Obrázok 17.9 Spoj ocelového stĺpa s ocelovým priečnikom

17.6.1 Návrh a posudok šróbov

Šróby boli navrhnuté a posúdené podľa 16.2 a plechy podľa 16.3. Rozhodujúca kombinácia bola NC125.

Obsah kombinácie:

$$NC125 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS3 \cdot 0,75 + ZS14 \cdot 1,50$$

Tabuľka 17.44 Čelná doska - materiálové a prierezové veličiny

Veličina	Hodnota	Jednotka
$f_{y,b}$	355,00	[MPa]
$f_{u,b}$	510,00	[MPa]
f_{uk}	800,00	[MPa]
t_p	5,00	[mm]
d	12,00	[mm]
d_0	14,00	[mm]
A_{nt}	117,50	[mm ²]
A_{nv}	252,50	[mm ²]
n_v	2,00	[ks]

Tabuľka 17.45 Oceľová doska - rozteče

Veličina	Hodnota	Jednotka
e_1	30,00	[mm]
e_2	30,00	[mm]
p_1	40,00	[mm]

Tabuľka 17.46 Čelná doska – návrhové sily a únosnosti

Veličina	Hodnota	Jednotka
$N_{E,d}$	11,03	[kN]
$V_{E,d}$	1,86	[kN]
F_h	7,00	[kN]
F_v	0,93	[kN]
$F_{v,Ed}$	7,06	[kN]
$F_{v,Rd}$	32,37	[kN]
$F_{b,Rd}$	42,99	[kN]
$V_{eff,Rd}$	75,72	[kN]

Posudok na strih šróbu (16.7).

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

$$7,06 \text{ kN} < 32,37 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 21,81 %

Posudok na odtlačenie plechu (16.11).

$$F_{b,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

$$7,06 \text{ kN} < 42,99 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 16,42 %

Posudok na porušenie blokovým šmykom (16.13).

$$V_{Ed} \leq V_{eff,Rd}$$

$$11,03 \text{ kN} < 75,72 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 14,57 %

17.6.2 Návrh a posudok kútového zvaru

Kútový zvar bol navrhnutý podľa 16.4 a posúdený podľa 16.4.1. Bol zvolený jednostranný kútový zvar. Zvar bol posúdený na kombináciu NC125.

Obsah kombinácie:

$$NC125 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS3 \cdot 0,75 + ZS14 \cdot 1,50$$

Tabuľka 17.47 Návrhové vnútorné sily NC143

Veličina	Hodnota	Jednotka
N_{Ed}	11,03	[kN]
V_{Ed}	1,86	[kN]

Tabuľka 17.48 Charakteristiky a napätie v zvare

Veličina	Hodnota	Jednotka
a	3,00	[mm]
l	100,00	[mm]
A_w	300,00	[mm ²]
$W_{el,w}$	5000,00	[mm ³]
e	50,00	[mm]
β_w	0,90	[-]
τ_{II}	6,20	[MPa]
σ_w	55,37	[MPa]
τ_{\perp}	39,15	[MPa]
σ_{\perp}	39,15	[MPa]

Kútový zvar musí vyhovieť podmienkam únosnosti (16.22) a (16.23).

$$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)]} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$79,03 \text{ MPa} < 453,33 \text{ MPa} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 17,36 %

$$\sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

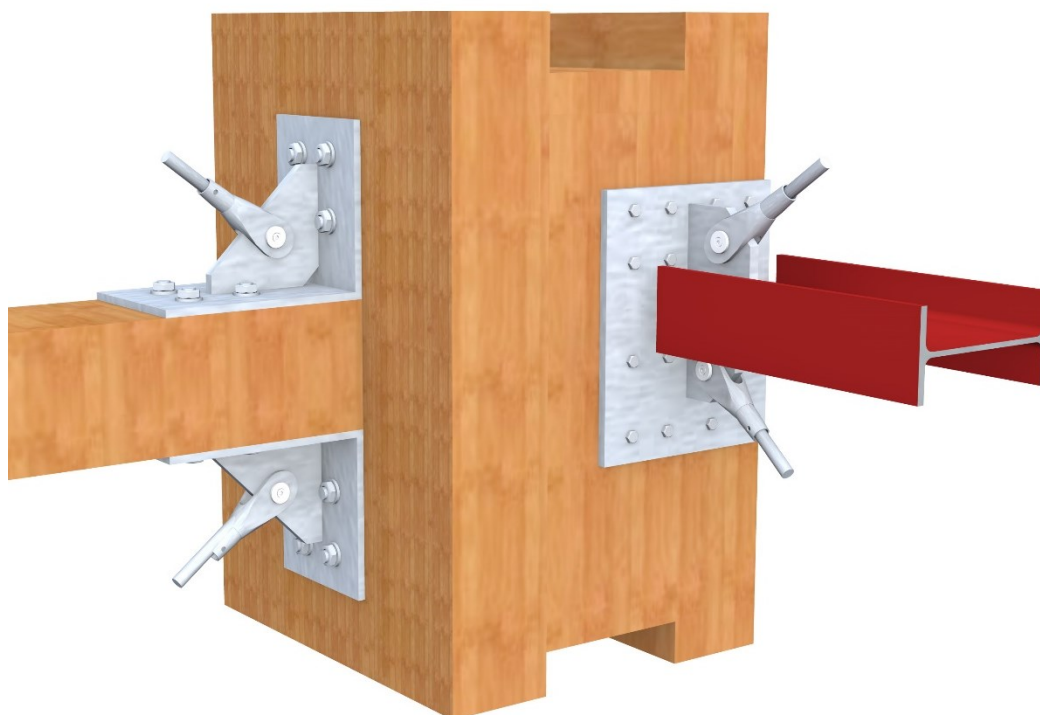
$$39,15 \text{ MPa} < 367,20 \text{ MPa} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 10,66 %

17.7 Spoj ocelového priečnika so stojkou

Jedná sa o spoj, ktorý spája stužidlo, ocelový priečnik IPE180 so stojkou pomocou plechu tvaru T. Spojenie plechu s priečnikom bolo navrhnuté pomocou 2 ks šróbov M12 triedy pevnosti 8.8. Spojenie medzi čelným plechom a stojkou bolo navrhnuté pomocou 16 ks skrutiek 8x60 triedy pevnosti 8.8. Ocelová doska bola zvolená hrúbky 5 mm

Na obrázku nižšie zobrazená vizualizácia spoja.



Obrázok 17.10 Spoj ocelového priečnika so stojkou

17.7.1 Návrh a posudok šróbov

Šróby boli navrhnuté a posúdené podľa 16.2 a plechy podľa 16.3. Rozhodujúca kombinácia bola NC118.

Obsah kombinácie:

$$NC118 = ZS1 \cdot 1,35 + ZS2 \cdot 1,35 + ZS4 \cdot 0,75 + ZS11 \cdot 1,50$$

Tabuľka 17.49 Čelná doska - materiálové a prierezové veličiny

Veličina	Hodnota	Jednotka
$f_{y,b}$	355,00	[MPa]
$f_{u,b}$	510,00	[MPa]
f_{uk}	800,00	[MPa]
t_p	5,00	[mm]
d	12,00	[mm]
d_0	14,00	[mm]
A_{nt}	117,50	[mm ²]
A_{nv}	252,50	[mm ²]
n_v	2,00	[ks]

Tabuľka 17.50 Oceľová doska - rozteče

Veličina	Hodnota	Jednotka
e_1	30,00	[mm]
e_2	30,00	[mm]
p_1	40,00	[mm]

Tabuľka 17.51 Čelná doska – návrhové sily a únosnosti

Veličina	Hodnota	Jednotka
V_{Ed}	20,00	[kN]
N_{Ed}	3,31	[kN]
F_h	12,65	[kN]
F_v	1,66	[kN]
$F_{v,Ed}$	12,76	[kN]
$F_{v,Rd}$	32,37	[kN]
$F_{b,Rd}$	42,99	[kN]
$V_{eff,Rd}$	75,72	[kN]

Posudok na strih šróbu (16.7).

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

$$12,76 \text{ kN} < 32,37 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 39,42 %

Posudok na odtlačenie plechu (16.11).

$$F_{b,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

$$12,76 \text{ kN} < 42,99 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 29,68 %

Posudok na porušenie blokovým šmykom (16.13).

$$V_{Ed} \leq V_{eff,Rd}$$

$$11,03 \text{ kN} < 75,72 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 26,41 %

17.7.2 Návrh a posudok skrutiek

Skrutky boli navrhnuté a posúdené podľa 15.3 a plechy podľa 16.3. Rozhodujúca kombinácia bola NC118.

Posúdenie priečnej únosnosti skrutiek

V tabuľke 17.52 sú uvedené hodnoty pevnosti a rozmery skrutky a vlastnosti dreva podľa 12.2.1, v tabuľke 17.53 hodnoty roztečov skrutiek podľa 15.3.4 a v tabuľke 17.54 návrhové hodnoty síl a únosnosti podľa 15.1.2.

Tabuľka 17.52 Priečna únosnosť vrutov – pevnosť a rozmery vrutu

Veličina	Hodnota	Jednotka
d	8,00	[mm]
l	60,00	[mm]
l_{ef}	36,00	[mm]
n_k	16,00	[ks]
n_{ef}	11,93	[ks]
$f_{y,k}$	640,00	[MPa]
$f_{u,k}$	800,00	[MPa]

Tabuľka 17.53 Priečna únosnosť vrutov - rozteče

Veličina	Hodnota	Jednotka
a_1	45,00	[mm]
a_2	40,00	[mm]
$a_{4,t}$	40,00	[mm]

Tabuľka 17.54 Priečna únosnosť vrutov – návrhové sily a únosnosti

Veličina	Hodnota	Jednotka
$F_{v,Rd,1}$	5,84	[kN]
$F_{v,Ed}$	48,13	[kN]
$F_{v,Rd}$	69,70	[kN]

Posúdenie únosnosti spoja musí splňovať (13.8)

$$F_{V,Rd} \geq F_{V,Ed}$$

$$69,70 \text{ kN} > 48,13 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 69,06 %

Posúdenie osovej únosnosti skrutiek

V tabuľke 17.55 sú uvedené hodnoty pevnosti a rozmery skrutiek a vlastnosti dreva podľa 12.2.1, v tabuľke 17.56 hodnoty roztečov skrutiek podľa 15.3.4 a v tabuľke 17.57 návrhové hodnoty síl a únosnosti podľa 15.3.2.

Tabuľka 17.55 Osová únosnosť vrutov – pevnosť a rozmery vrutu

Veličina	Hodnota	Jednotka
d	8,00	[mm]
l	60,00	[mm]
l_{ef}	36,00	[mm]
n_k	16,00	[ks]
n_{ef}	12,13	[ks]
$f_{y,k}$	640,00	[MPa]
$f_{u,k}$	800,00	[MPa]

Tabuľka 17.56 Osová únosnosť vrutov - rozteče

Veličina	Hodnota	Jednotka
a_1	45,00	[mm]
a_2	40,00	[mm]
$a_{4,t}$	40,00	[mm]

Tabuľka 17.57 Osová únosnosť vrutov – návrhové sily a únosnosti

Veličina	Hodnota	Jednotka
$F_{ax,k,Rd,1}$	2,74	[kN]
$F_{ax,Ed}$	20,00	[kN]
$F_{ax,Rd}$	33,26	[kN]

Posúdenie osovej únosnosti spoja na vytiahnutie

$$F_{ax,Rd} \geq F_{ax,Ed}$$

$$33,26 \text{ kN} > 20,00 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 60,13 %

Posúdenie kombinácie osovo a priečne namáhanej skrutky

$$\left(\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}\right)^2 \leq 1$$

$0,84 < 1 \rightarrow$ Vyhovuje

Využitie 83,85 %

Návrh a posudok čelnej oceleovej dosky

Tabuľka 17.58 Čelná doska - materiálové a prierezové veličiny

Veličina	Hodnota	Jednotka
$f_{y,b}$	355,00	[MPa]
$f_{u,b}$	510,00	[MPa]
f_{uk}	800,00	[MPa]
t_p	5,00	[mm]
d	8,00	[mm]
d_0	9,00	[mm]
d_m	13,00	[mm]
A_{nt}	77,50	[mm ²]
A_{nv}	332,50	[mm ²]
n_v	16,00	[ks]

Tabuľka 17.59 Čelná oceľová doska - rozteče

Veličina	Hodnota	Jednotka
e_1	20,00	[mm]
e_2	40,00	[mm]
p_1	45,00	[mm]

Tabuľka 17.60 Čelná doska – návrhové sily a únosnosti

Veličina	Hodnota	Jednotka
V_{Ed}	48,13	[kN]
N_{Ed}	20,00	[kN]
F_{Ed}	52,12	[kN]
$F_{v,Ed,1}$	3,26	[kN]
$F_{t,Ed,1}$	2,74	[kN]
$F_{b,Rd}$	30,22	[kN]
$B_{p,Rd}$	49,98	[kN]
$V_{eff,Rd}$	83,96	[kN]

Posúdenie na únosnosť odtlačení dosky musí spĺňať (13.11)

$$F_{b,Rd} \geq F_{v,Ed,1}$$

$30,22 \text{ kN} \geq 3,26 \text{ kN} \rightarrow$ Vyhovuje

Využitie 10,78 %

Posúdenie na pretlačenie hlavy alebo matice šróbu musí spĺňať (13.16).

$$B_{p,Rd} \geq F_{t,Ed,1}$$

$$49,98 \text{ kN} \geq 2,74 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 5,48 %

Posúdenie na porušenie blokovým šmykom musí spĺňať (13.14).

$$V_{eff,Rd} \geq V_{Ed}$$

$$83,96 \text{ kN} \geq 48,13 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 57,33 %

17.7.3 Návrh čapu stužidla

Čap, stužidlo a tiež plech čapu bol navrhnutý podľa katalógu [12].

17.7.4 Návrh a posudok kútového zvaru

Kútový zvar bol navrhnutý podľa 16.4 a posúdený podľa 16.4.1. Bol zvolený jednostranný kútový zvar. Zvar bol posúdený na kombináciu NC118.

Tabuľka 17.61 Návrhové vnútorné sily NC143

Veličina	Hodnota	Jednotka
N_{Ed}	20,00	[kN]
V_{Ed}	3,32	[kN]

Tabuľka 17.62 Charakteristiky a napätie v zvare

Veličina	Hodnota	Jednotka
a	3,00	[mm]
l	100,00	[mm]
A_w	300,00	[mm ²]
$W_{el,w}$	5000,00	[mm ³]
e	50,00	[mm]
β_w	0,90	[-]
τ_{II}	11,07	[MPa]
σ_w	99,87	[MPa]
τ_I	70,62	[MPa]
σ_I	70,62	[MPa]

Kútový zvar musí vyhovieť podmienkam únosnosti (16.22) a (16.23).

$$\sqrt{[\sigma_1^2 + 3 \cdot (\tau_1^2 + \tau_{II}^2)]} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$142,53 \text{ MPa} < 453,33 \text{ MPa} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 31,44 %

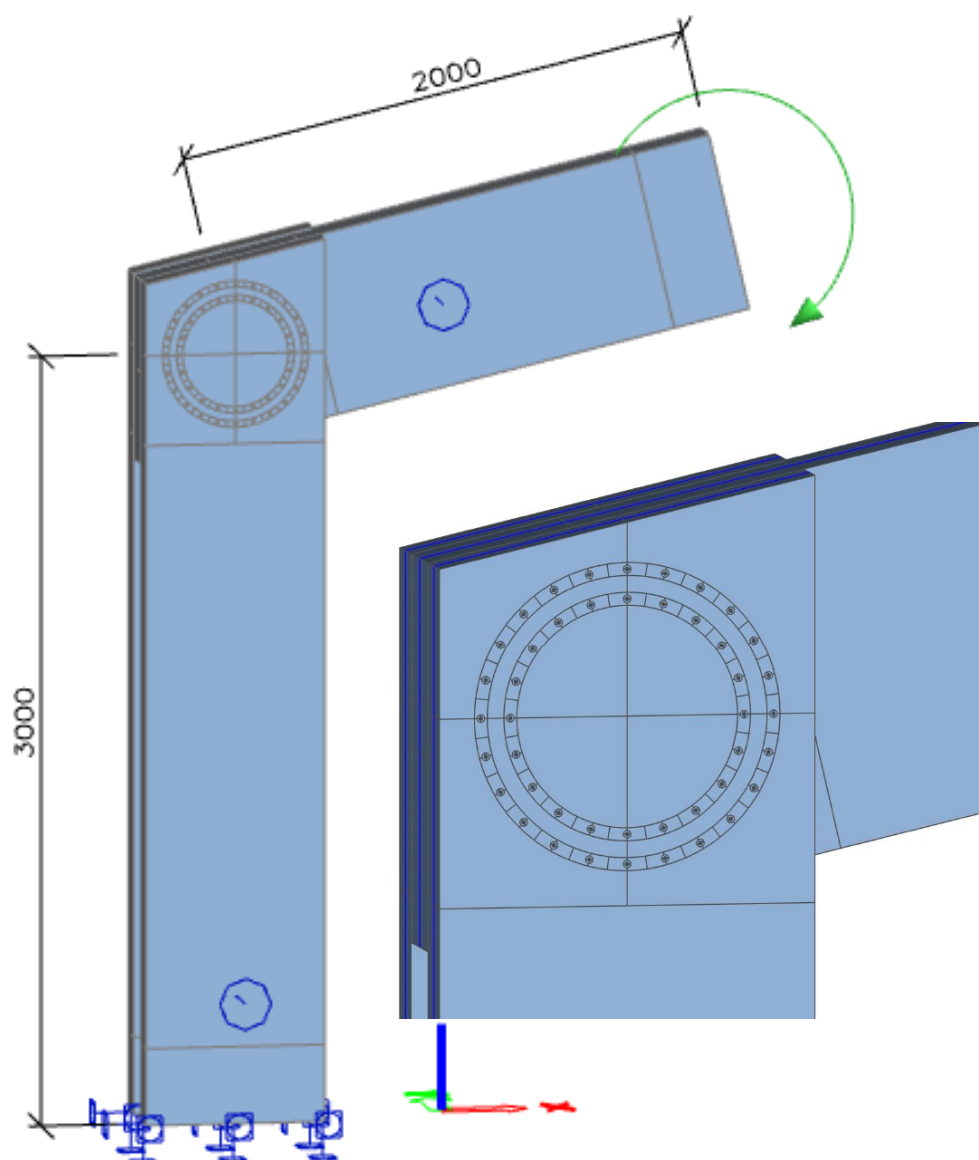
$$\sigma_1 \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$70,62 \text{ MPa} < 367,20 \text{ MPa} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Využitie 19,23 %

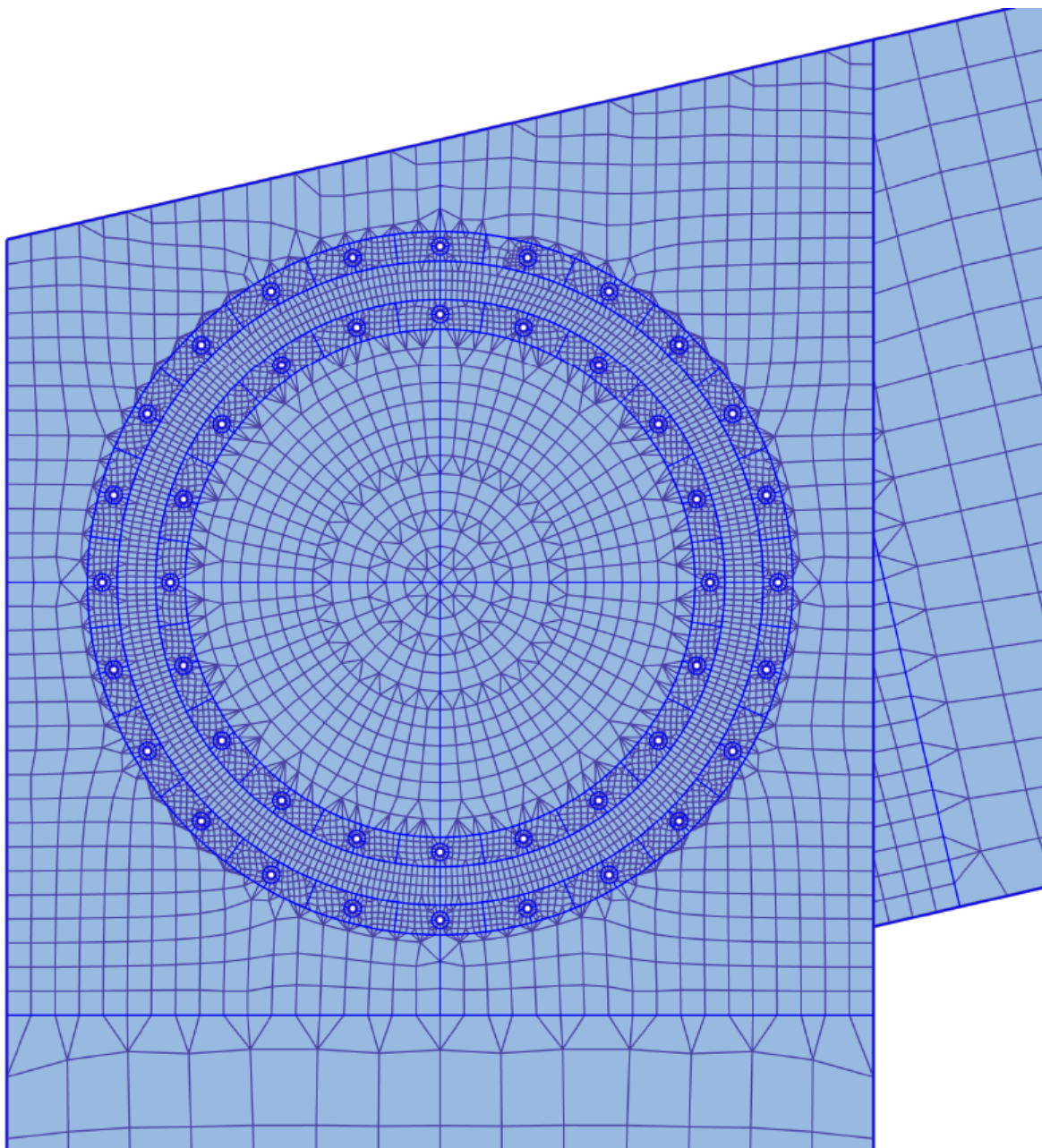
18 Numerické modelovanie rámového spoja

Táto kapitola diplomovej práce sa podrobne venovala spoju rámovej priečle a rámovej stojky. Cieľom bolo analyzovať správanie spoja od zaťaženia momentom a porovnať výsledky ručného výpočtu s numerickým modelom. Tento spoj bol vymodelovaný separovane od konštrukcie haly, boli mu udelené ekvivalentné okrajové podmienky a zaťaženie momentom $M_{Ed} = 168,85$ kNm (obrázok 18.1). Pre analýzu spoja boli vytvorené dva numerické modely. Prvý s izotropnými vlastnosťami dreva a druhý s ortotropnými vlastnosťami dreva. Tento spoj už bol navrhnutý a spočítaný podľa normového výpočtu v kapitole 17.1.



Obrázok 18.1 3D pohľad na spoj

V numerickom modeli je dôležité, okrem správne zadaných okrajových podmienok a zaťaženia, správne vytvorenie siete. Model bol rozdelený na určité oblasti, ako je vidieť na obrázku 18.2, v ktorých bola zadaná rôzna veľkosť konečných prvkov v rozmedzí od 3 do 50 mm.



Obrázok 18.2 Sieť konečných prvkov

18.1 Fyzikálna nelinearita

18.1.1 Izotropný model dreva

Izotropia – rovnaké vlastnosti v každom smere. Modelovať drevo ako izotropný materiál nie je vzhľadom k jeho komplikovanej štruktúre korektné. I napriek tomu bol takýto model pre porovnanie s ortotropným modelom zhotovený. Modul pružnosti bol zadaný $E = 11,50$ GPa.

18.1.2 Ortotropný model dreva

Drevo ako anizotropný materiál vykazuje odlišné mechanické vlastnosti v závislosti na smere namáhania. Experimentálne bolo zistené, že drevo vykazuje rozdielne namáhanie v troch navzájom kolmých smeroch, pozdĺžnom, radiálnom a tangenciálnom. Materiál, ktorý splňuje predpoklad symetrie je možné označiť za ortotropný. Ortotropia – rôzne vlastnosti vo vzájomne kolmých smeroch. V programe Scia Engineer 17.1 sú ortotropné vlastnosti materiálu definované fyzikálnymi konštantami, ktoré sú závislé na hrúbke prvku, modulu pružnosti rovnobežne s vláknami, modulu pružnosti kolmo na vlákna, modulu pružnosti v krútení, poissonovej konštante rovnobežne s vláknami a poissonovej konštante kolmo na vlákna. Pre škrupinový model sú to fyzikálne konštanty doskového a stenového prvku [14]. V tabuľke 18.1 sú uvedené spočítané fyzikálne konštanty podľa [14].

Tabuľka 18.1 Fyzikálne konštanty prvkov

Fyzikálne konštanty	Stojka 120 mm	Priečla 180 mm	Jednotka
D11	1,681	5,675	[MNm]
D22	0,219	0,740	[MNm]
D12	0,075	0,252	[MNm]
D21	0,075	0,252	[MNm]
D33	0,266	0,899	[MNm]
D44	84,000	126,000	[MN/m]
D55	84,000	126,000	[MN/m]
d11	1401,127	2101,690	[MN/m]
d22	182,756	274,133	[MN/m]
d12	62,137	93,205	[MN/m]
d21	62,137	93,205	[MN/m]
d33	221,95	333,92	[MN/m]

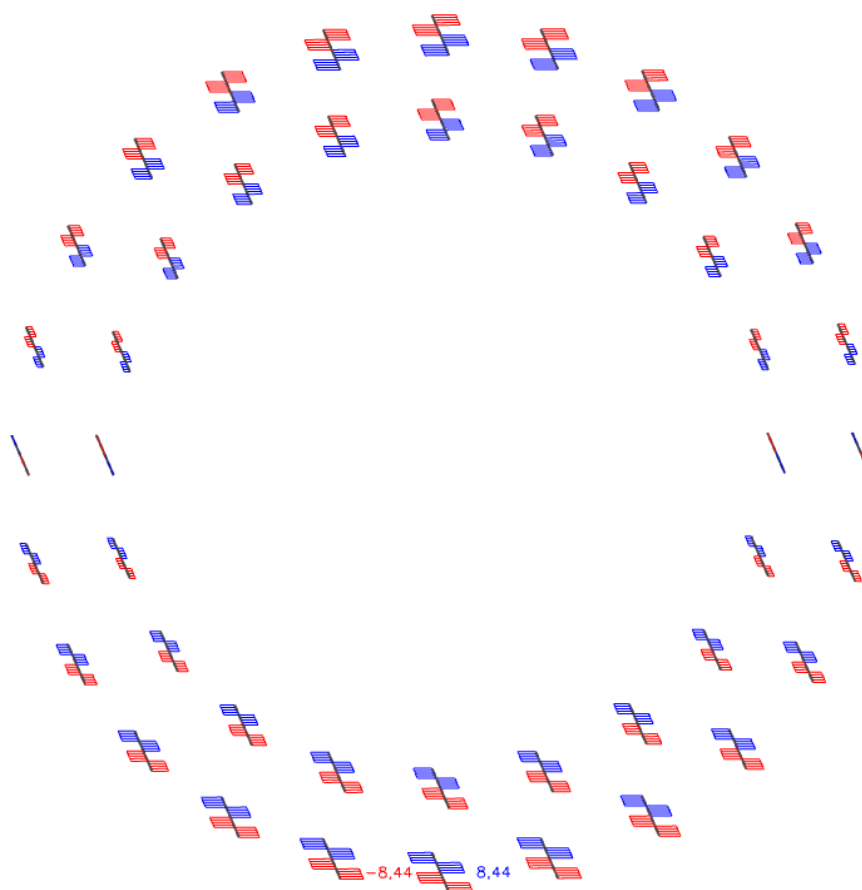
18.2 Porovnanie sily od momentu

Podľa postupu v [2] boli spočítané vnútorné sily na spojovacie prostriedky od momentu. Najviac zaťažený spojovací prostriedok vyšiel v ose stojky, skrutka č.12 obrázok 17.2. Porovnanie zaťaženia od momentu $M_{Ed} = 168,85$ kNm je zobrazené v nasledujúcej tabuľke.

Tabuľka 18.2 Porovnanie sily od momentu

Spôsob výpočtu	F_m [kN]	Rozdiel [%]
Ručný výpočet [2]	16,83	0,00
Izotropný model	16,92	0,53
Ortotropný model	16,88	0,30

Podľa vyššie uvedenej tabuľky môžeme skonštatovať, že ortotropný model sa najviac blíži výsledkom z ručného výpočtu rozdielom 0,30 %.



Obrázok 18.3 Rozdelenie síl od momentu ortotropný model

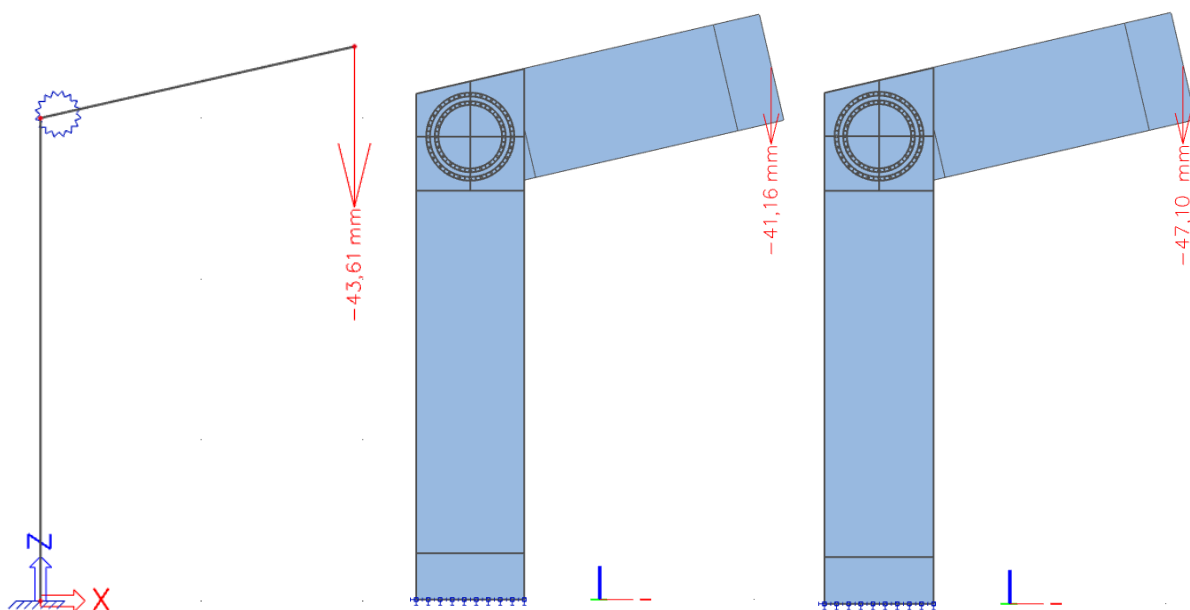
18.3 Porovnanie deformácií

Bola porovnávaná zvislá deformácia na konci osi priečle. Tento posun bol numericky vypočítaný ako škrupinový model s izotropnými a ortotropnými vlastnosťami materiálu. Pre ručný výpočet bol tento príklad zjednodušený na prútový model a spočítaný pomocou silovej metódy, ktorý bol overený aj numerickým prútovým modelom. Výsledky boli zhrnuté do tabuľky nižšie.

Tabuľka 18.3 Porovnanie deformácií

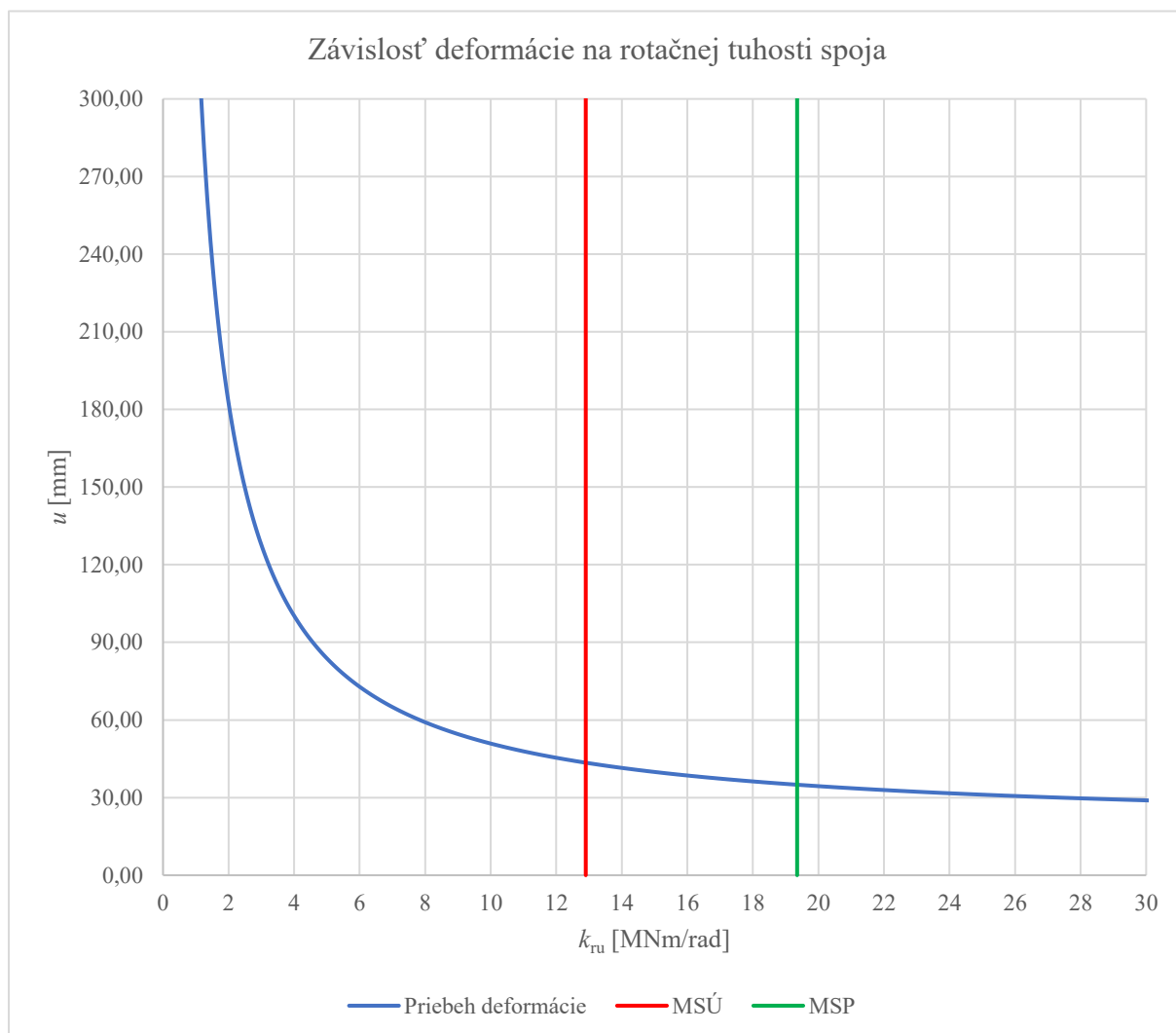
Spôsob výpočtu	u [mm]	Rozdiel [%]
Silová metóda	43,47	0,00
Prútový model	43,61	0,32
Izotropný model	41,16	5,61
Ortotropný model	47,10	7,71

Rozdiel medzi silovou metódou a prútovým modelom v Scia Engineer 17.1 je zanedbateľne malý. Najviac z týchto výpočtových modelov sa deformuje škrupinový ortotropný model, ktorý môže byť podľa predpokladov najbližšie správaniu sa drevenej lepenej lamelovej konštrukcie.



Obrázok 18.4 Deformácia vrcholu zľava, prútový model, izotropný škrupinový model, ortotropný škrupinový model

Pomocou silovej metódy bol vytvorený graf 18.1, ktorý znázorňuje závislosť deformácie bodu vo vrchole osi priečle na rotačnej tuhosti spoja.



Graf 18.1 Graf závislosti deformácie na rotačnej tuhosti spoja

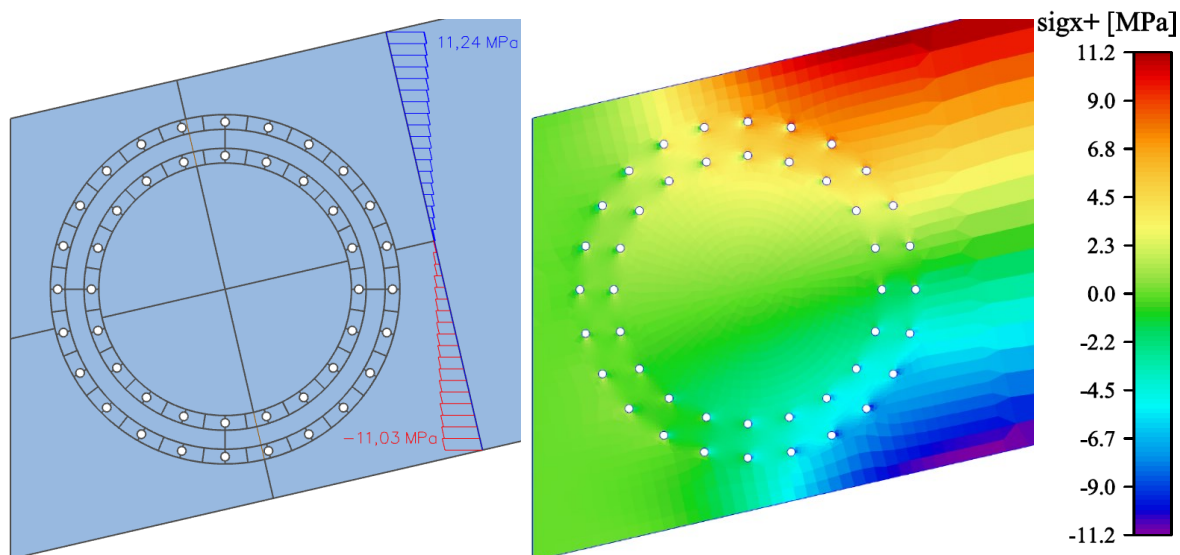
18.4 Porovnanie napätí

18.4.1 Napätie od ohybu

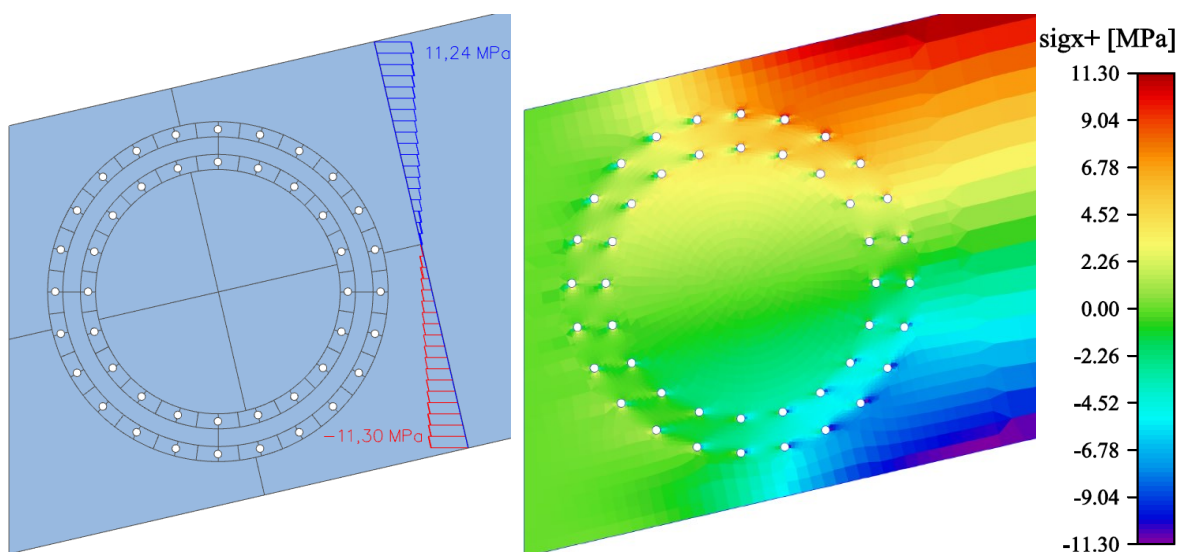
V numerických modeloch bolo sledované napätie od ohybu v krajných vláknoch a porovnané s ručným výpočtom uvedeným v [2]. Výsledky boli zhrnuté do tabuľky 18.4.

Tabuľka 18.4 Porovnanie napätí σ_m

Spôsob výpočtu	σ_m [MPa]	Rozdiel [%]
Ručný výpočet [2]	11,49	0,00
Izotropný model	11,03	4,17
Ortotropný model	11,30	1,68



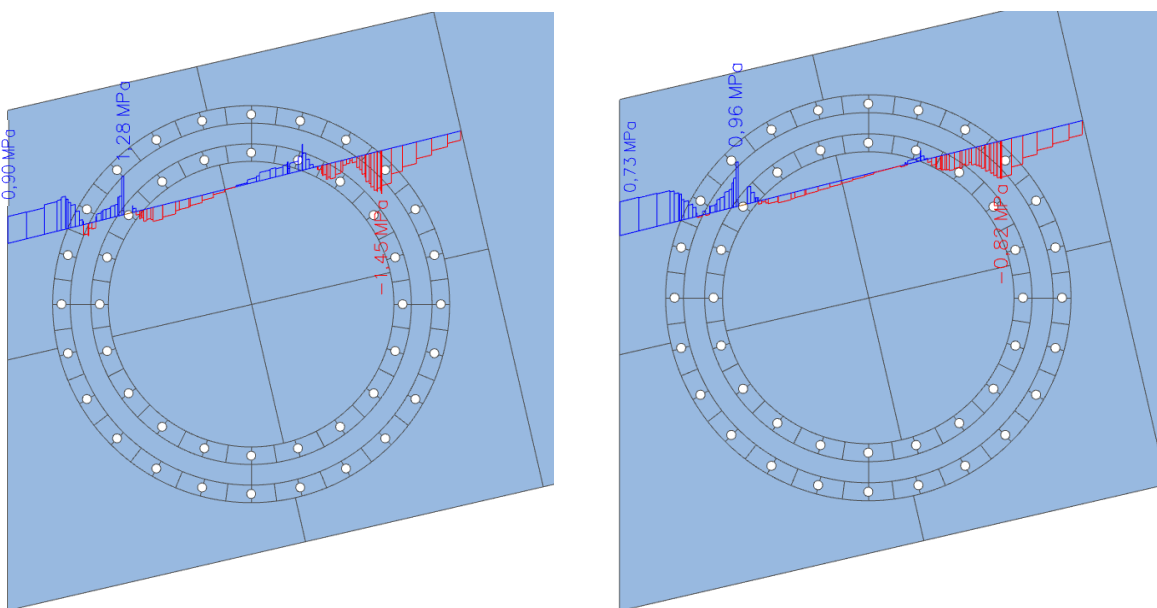
Obrázok 18.5 Pribeh napätí v škrupinovom izotropnom modeli



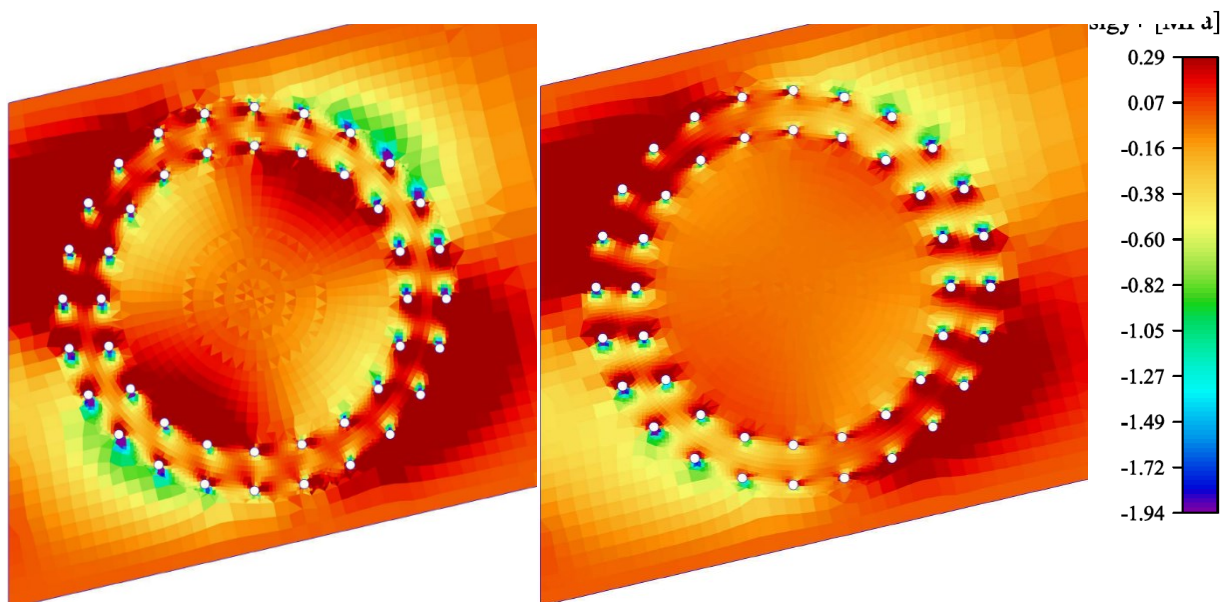
Obrázok 18.6 Pribeh napätí v škrupinovom ortotropnom modeli

18.4.2 Ťah kolmo na vlákna

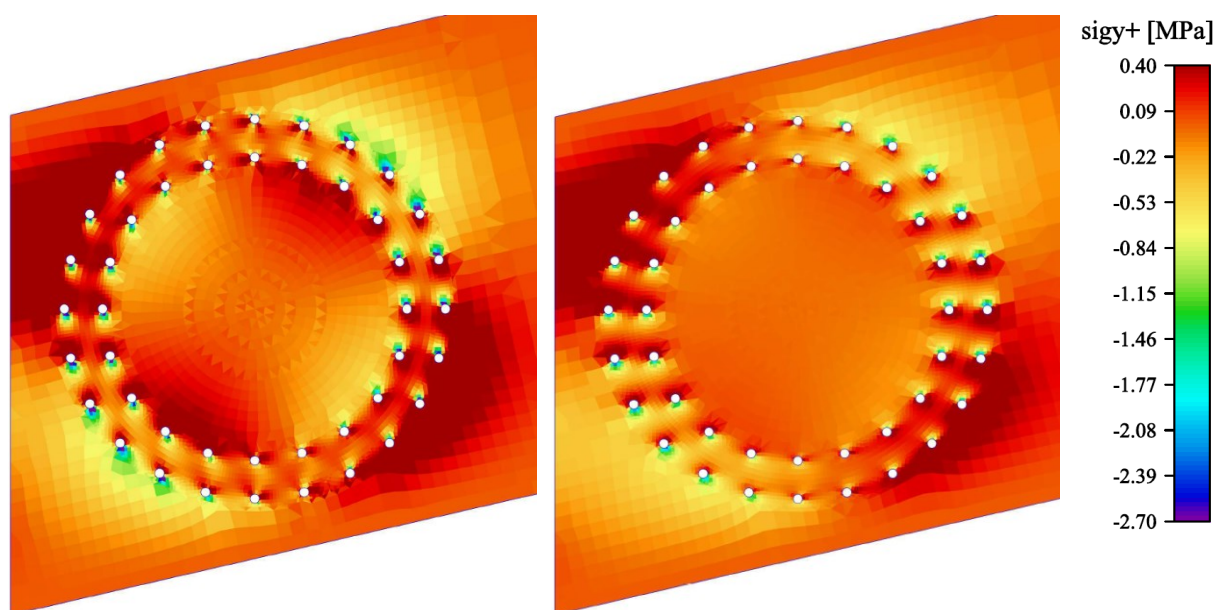
V norme [5] ani odbornej literatúre [2] sa neuvádza postup výpočtu ťahu kolmo na vlákna pri tomto type spoja. Očakáva sa, že splnenie podmienok jednotlivých vzdialeností spojovacích prostriedkov tento problém eliminuje. Podľa fyzikálneho testu 19 sa spoj porušil v ťahu kolmo na vlákna v mieste najväčšej koncentrácií napätia ťahu kolmo na vlákna v priečli (obrázok 18.8). K tomuto porušeniu však došlo po prekročení normou vypočítanej únosnosti spoja.



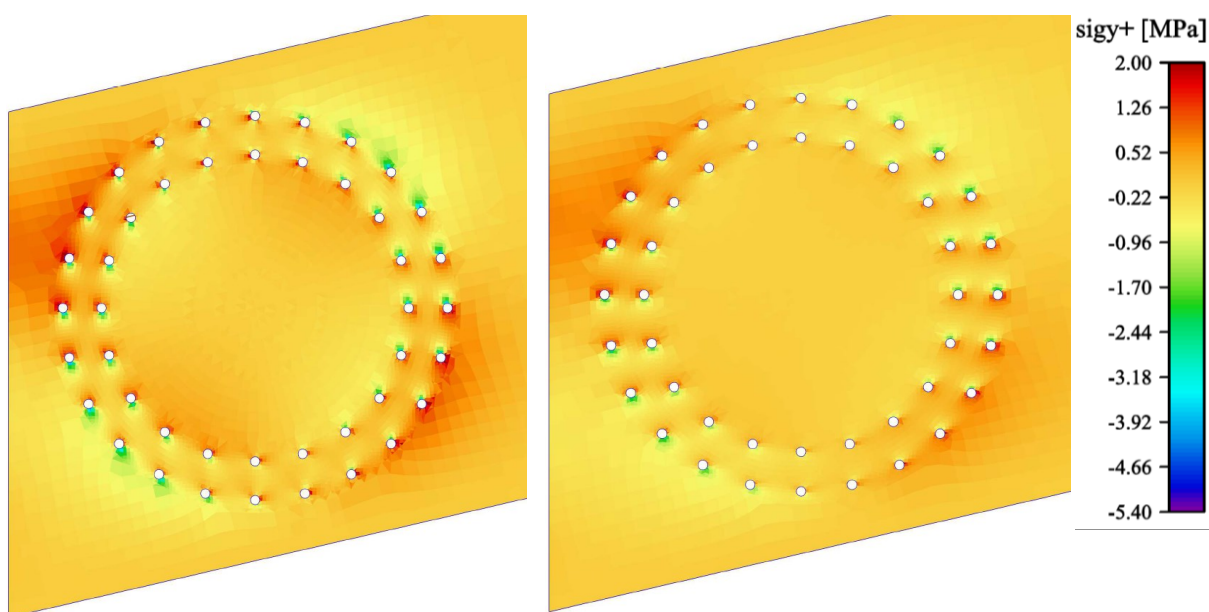
Obrázok 18.7 Priebeh napätí ťahu kolmo na vlákna vľavo izotropný, vpravo ortotropný model



Obrázok 18.8 Priebeh návrhových hodnôt napätí kolmo na vlákna, vľavo izotropný, vpravo ortotropný model



Obrázok 18.9 Priebeh charakteristických hodnôt napätí kolmo na vlákna, vľavo izotropný, vpravo ortotropný model



Obrázok 18.10 Priebeh fyzikálnych hodnôt napätí kolmo na vlákna, vľavo izotropný, vpravo ortotropný model

Na vyššie uvedených obrázkoch sú zobrazené priebehy napätia ťahu kolmo na vlákna v priechli, v izotropnom a ortotropnom modely. Na pravej strane obrázok 18.8 až obrázok 18.10 je uvedená farebná škála, ktorá popisuje hodnotu napätí. Rozdiel v hodnote napätia porovnávaných modelov, mimo špičku napätí pri otvore, je 18,88%. S prihliadnutím na ortotropný model, ktorý je presnejší, je maximálne napätie pri otvore 0,96 MPa a mimo otvoru 0,73 MPa. Toto napätie je síce väčšie ako návrhové napätie (obrázok 18.8) podľa [5], ale

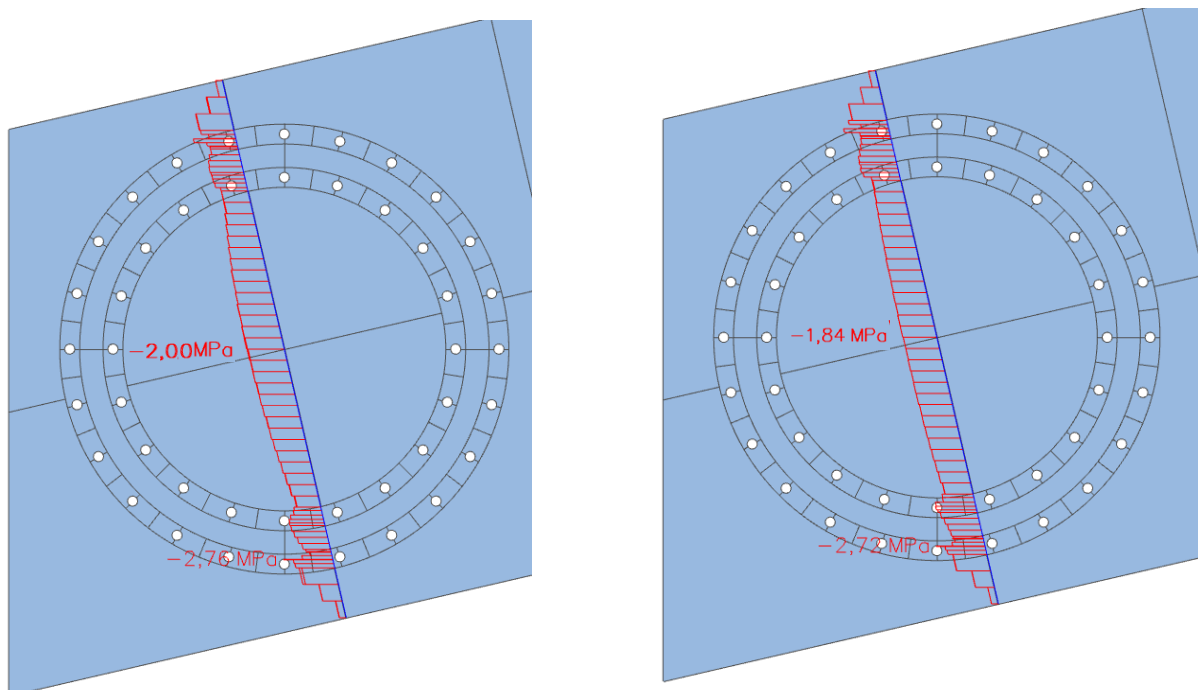
nespôsobilo by pravdepodobne kolaps spoja. Tento typ dreva podľa fyzikálnych testov vydrží v ťahu kolmo na vlákna cca 1,70 až 2,50 MPa. Napätie pri otvore by spôsobilo pravdepodobne lokálne trhliny v dreve.

18.4.3 Šmyk

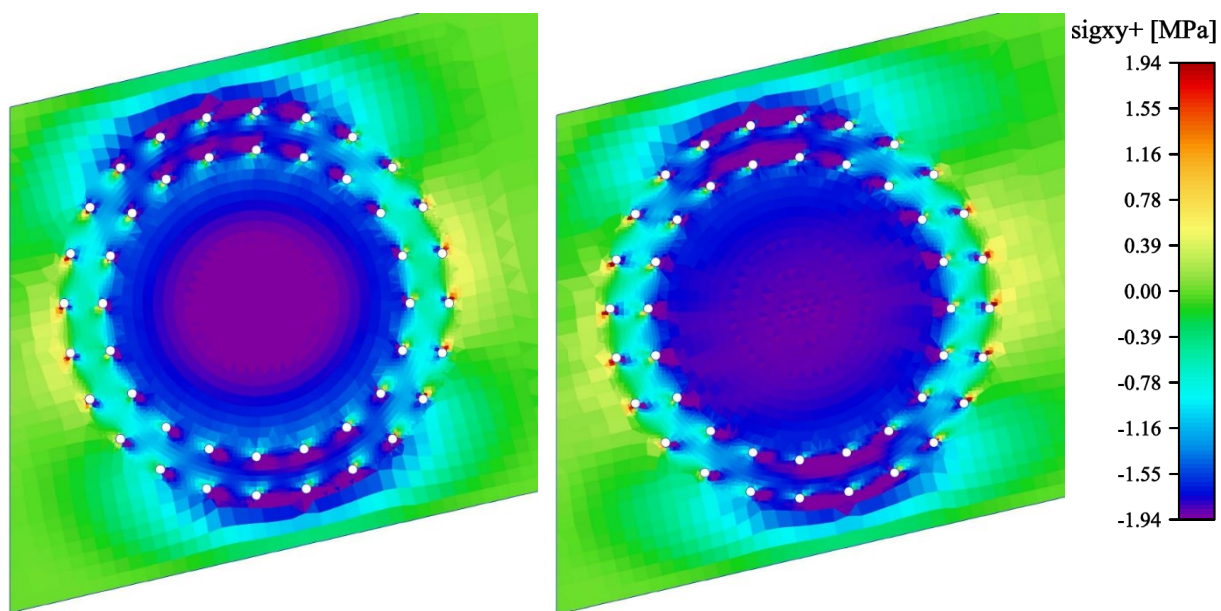
Cieľom podkapitoly bolo ukázať priebehy šmykového napätia v izotropnom a ortotropnom numerickom modeli a porovnať toto napätie s výpočtom podľa [2]. Na nasledujúcich obrázkoch 18.12 až obrázok 18.14 sú zobrazené priebehy šmykového napätia v izotropnom a ortotropnom modeli. Na obrázku 18.12 je zvolená škála návrhových napätí podľa [5], na obrázku 18.13 je zvolená škála charakteristických napätí podľa [5] a na obrázku 18.14 je zvolená škála charakteristických napätí rastlého dreva rovnakej pevnostnej triedy podľa [5]. V tabuľke nižšie sú zobrazené a porovnané výsledky šmykového napätia.

Tabuľka 18.5 Porovnanie napätí τ

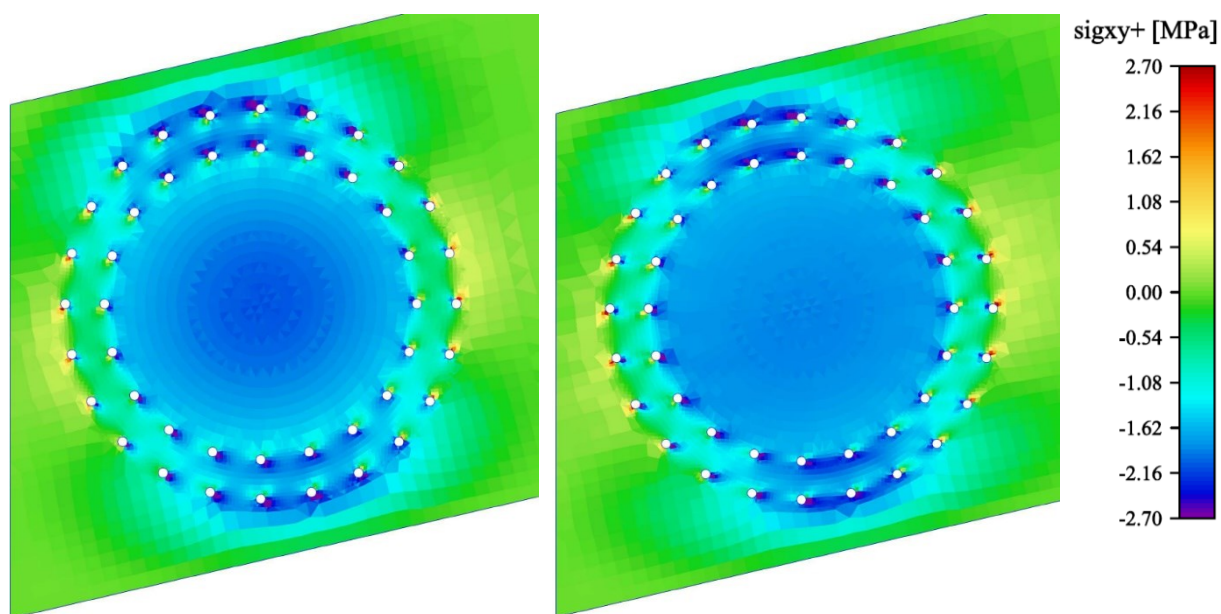
Spôsob výpočtu	τ [MPa]	Rozdiel [%]
Ručný výpočet [2]	2,22	0,00
Izotropný model	2,00	11,00
Ortotropný model	1,84	20,65



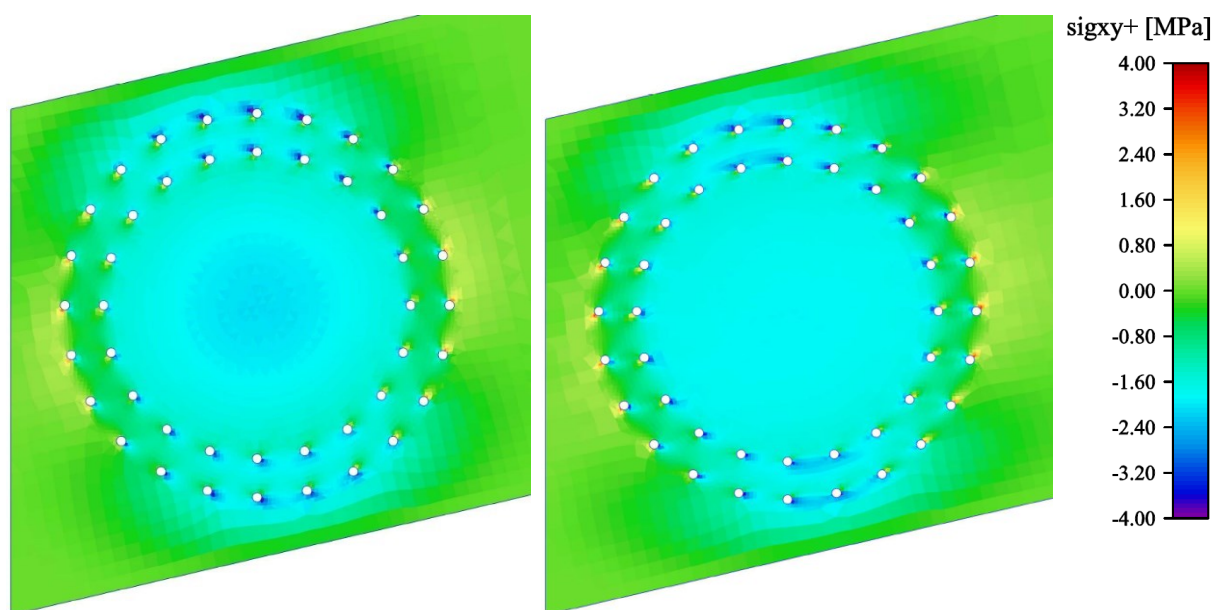
Obrázok 18.11 Priebeh šmykových napätí, vľavo izotropný, vpravo ortotropný model



Obrázok 18.13 Priebeh návrhových hodnôt šmykových napätí, vľavo izotropný, vpravo ortotropný model



Obrázok 18.12 Priebeh charakteristických hodnôt šmykových napätí, vľavo izotropný, vpravo ortotropný model



Obrázok 18.14 Priebeh charakteristických hodnôt šmykových napätí dreva C24, vľavo izotropný, vpravo ortotropný model

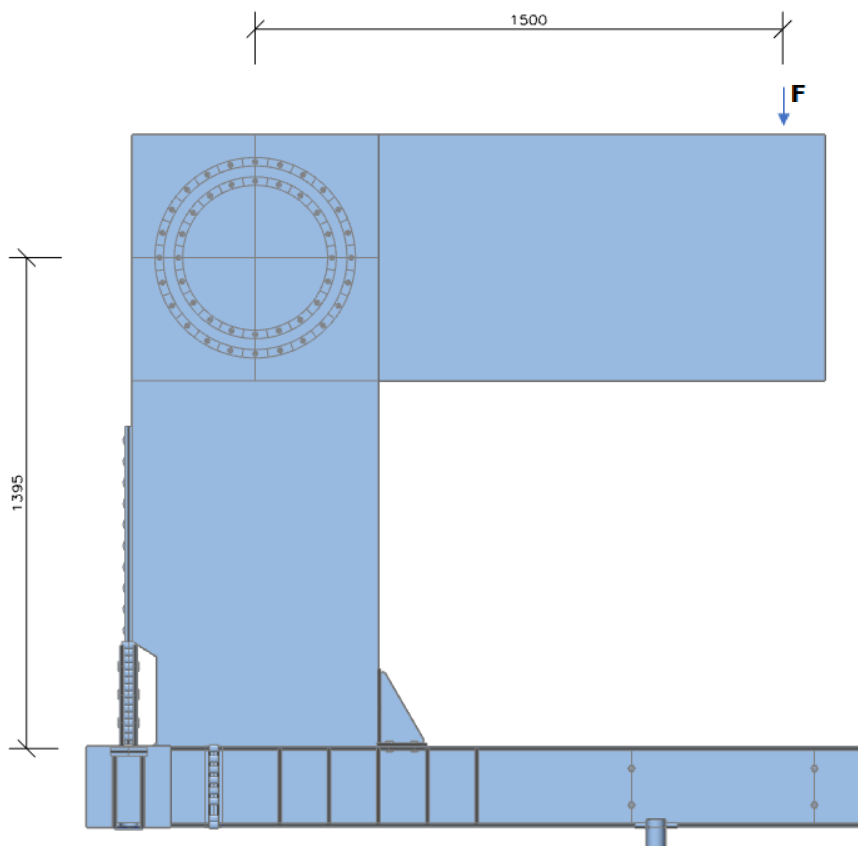
Posúdenie hodnoty šmykového napätia podľa [2] by nevyhovelo s návrhovou hodnotou napätia 1,94 MPa o 14,43%. Ak by sme zobrali do úvahy návrhovú hodnotu rastlého dreva rovnakej pevnostnej triedy (LLD 2,70 MPa, rastlé 4,00 MPa) dostali by sme podstatne vyššiu návrhovú hodnotu 2,88 MPa, v tomto prípade by prvok vyhovelo s 22,92% rezervou. Podľa ortotropného numerického modelu je výsledné napätie (mimo špičky napätia pri otvore) 1,80 MPa, v tomto prípade by prvok vyhovelo s 7,22% rezervou. Test 19 ukázal, že príčinou porušenia spoja nebolo prekročenie šmykového napätia.

19 Fyzikálny test spoja

Vďaka podpore VŠB-TU FAST, firiem [15], [16], [17] sa podarilo zorganizovať a uskutočniť fyzikálny test navrhovaného spoja 18 v skutočnej mierke. Spoj pre fyzikálny test je oproti navrhovanému odlišný v sklone priečle (navrhovaný sklon 13%, testovaný sklon 0%). Z hľadiska únosnosti spoja nemá sklon priečle, pretože sa jedná o kruhový spoj, významný vplyv. Cieľom testu, okrem iných cieľov, bolo zistiť zaťaženie, ktoré spôsobí kolaps spoja a porovnať túto hodnotu s vypočítanou hodnotou podľa [5]. Ďalším cieľom bolo zistiť spôsob porušenia tohoto spoja. Pre tento test bol vytvorený podrobný numerický model v programe Scia Engineer 17.1, je súčasťou práce, a podrobný model v programe Ansys 18.1, ktorý vytvoril Ing. David Mikolášek, Ph.D, tento model nie je súčasťou práce.

19.1 Numerický model v Scia Engineer 17.1

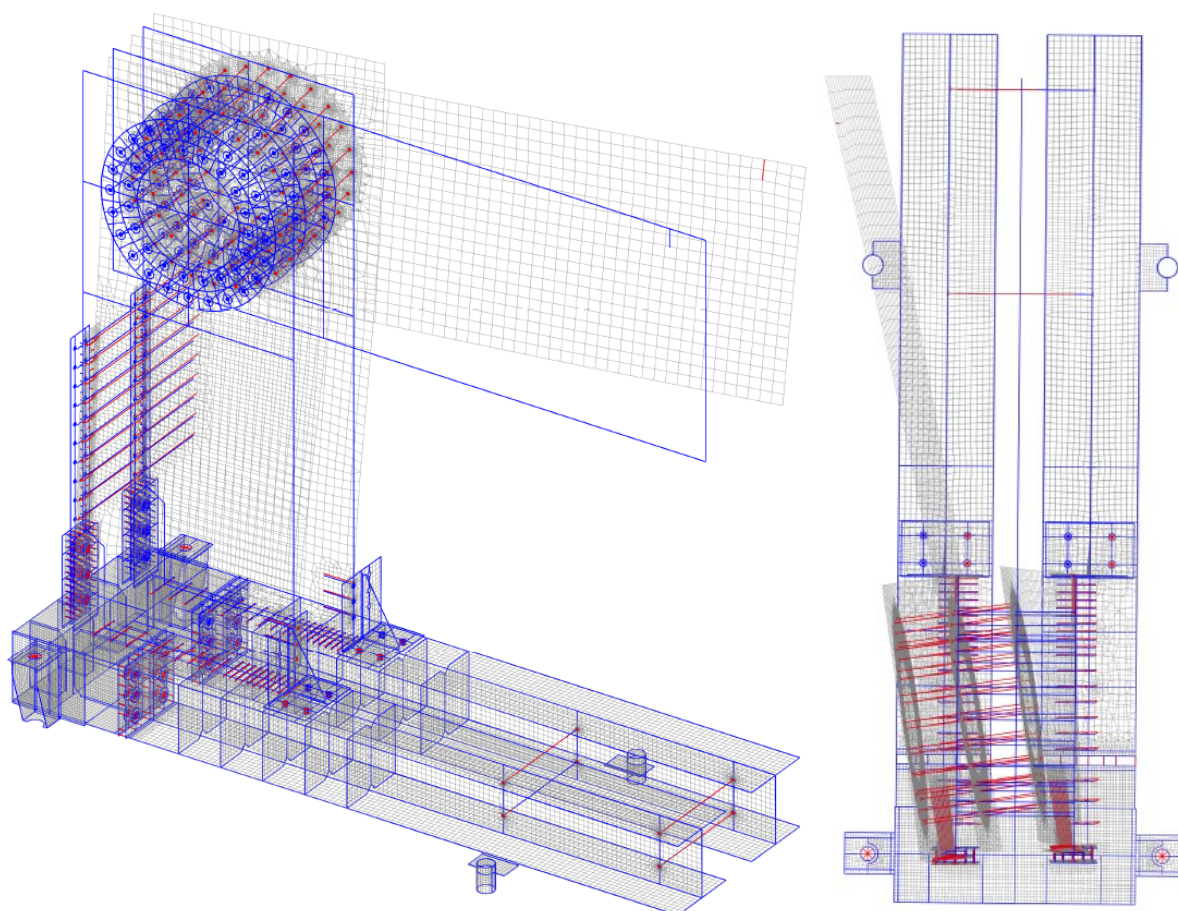
V programe Scia Engineer 17.1 bol vytvorený modifikovaný prútovo - škrupinový model (obrázok 19.1) s ortotropnými vlastnosťami dreva 18.1.2, ktorý odpovedal skúšanému vzorku.



Obrázok 19.1 Výpočtový model v Scia Engineer 17.1

19.1.1 Stabilita modelu

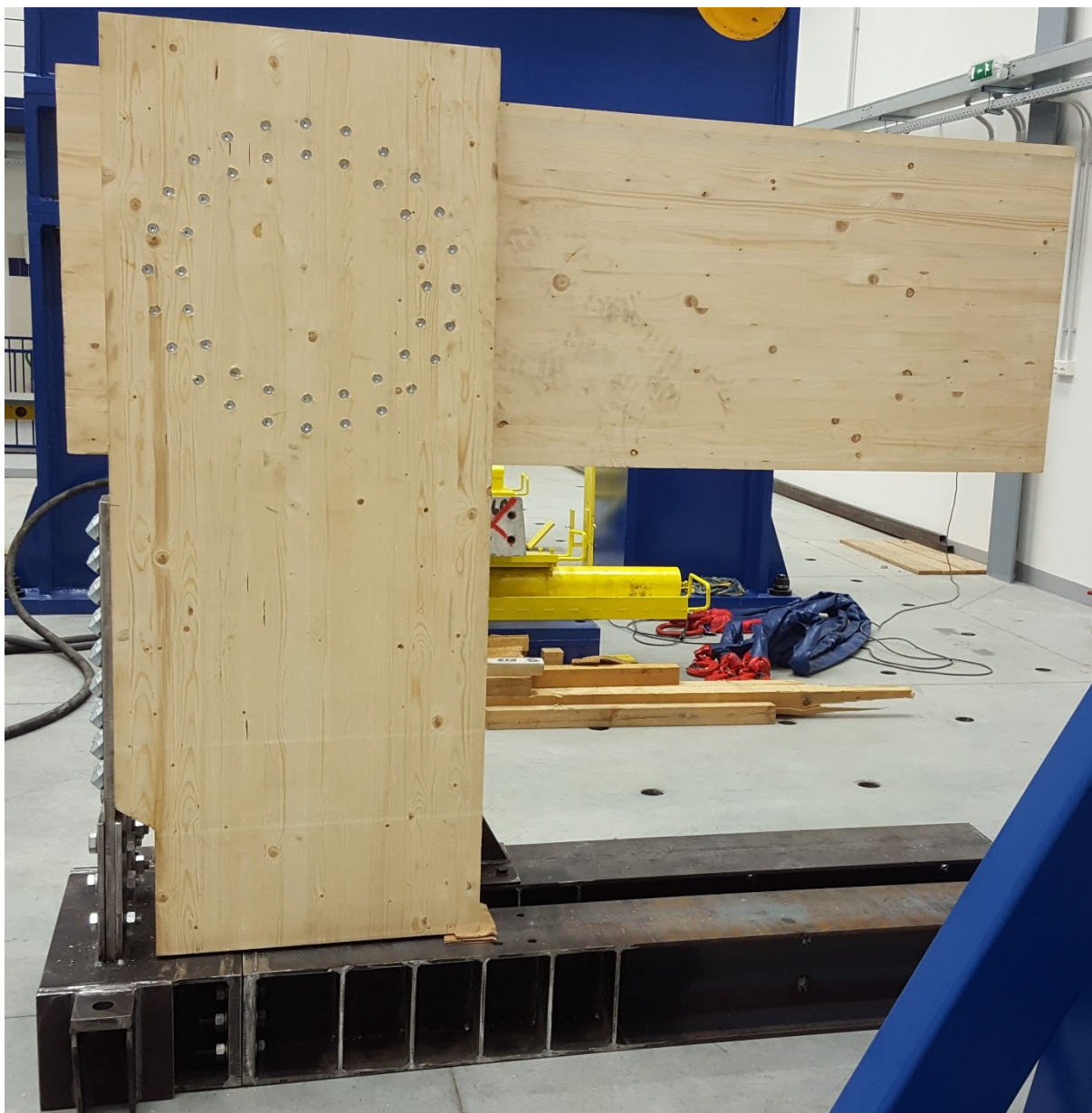
Na rozdiel od modelu z programu Ansys 18.1 (nie je súčasťou práce) nie je možné z numerického modelu 19.1 zistiť silu, ktorá by spôsobila kolaps (škrupinový model neobsahuje objemové prvky, odtlačenie skrutiek je simulované zavedením translačných tuhostí). Preto bola na tomto modeli vyšetrovaná len stabilita. Tá bola vypočítaná režimom nelineárna stabilita a obsahovala vstupnú silu, ktorá spôsobí kolaps konštrukcie v numerickom modeli z programu Ansys 18.1 (159,94 kN). Konštrukcia stratila stabilitu pri vlastnom čísle $\alpha_{cr} = 4,86$, vstupná sila bola 159,94 kN. Táto hodnota, násobená vlastným číslom, zaťaženia nie je reálne dosiahnuteľná. Konštrukciu môžeme považovať za dostatočne odolnú z hľadiska stability pre tento test.



Obrázok 19.2 Stráta stability modelu $\alpha_{cr} = 4,86$, vľavo axonometrický pohľad, v pravo pohľad zhora

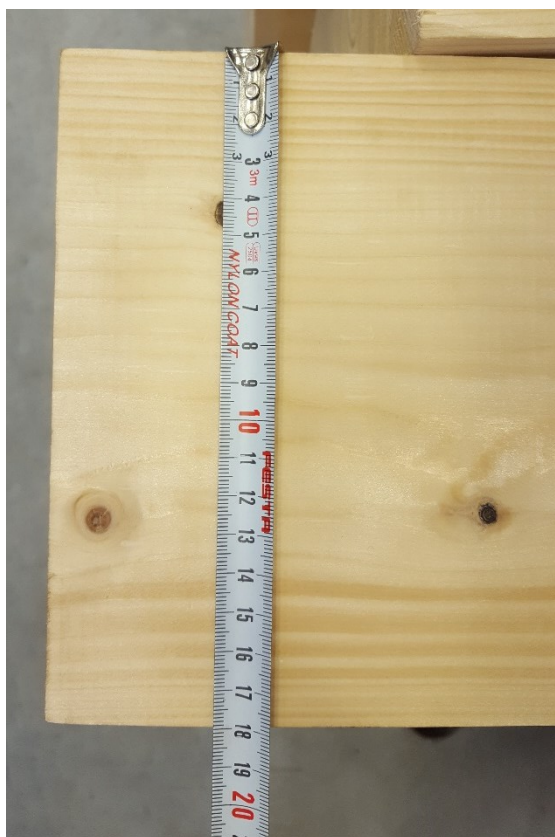
19.2 Príprava testu

Testovaná konštrukcia sa skladá z priečle (vodorovný prvok, 180x700x2050 mm), stojky (zvislý prvok, 120x700x1830 mm) a momentového spoja zloženého z celkovo 44 ks (vonkajší kruh 24 ks $r = 273$ mm, vnútorný kruh 20 ks $r = 218$ mm) skrutiek rothoblaas VGS11400 ($\phi = 11$ mm, $l = 400$ mm). Okrajové podmienky zaisťuje sekundárna oceľová konštrukcia, navrhnutá vedúcim diplomovej práce Ing. David Mikolášek, Ph.D.

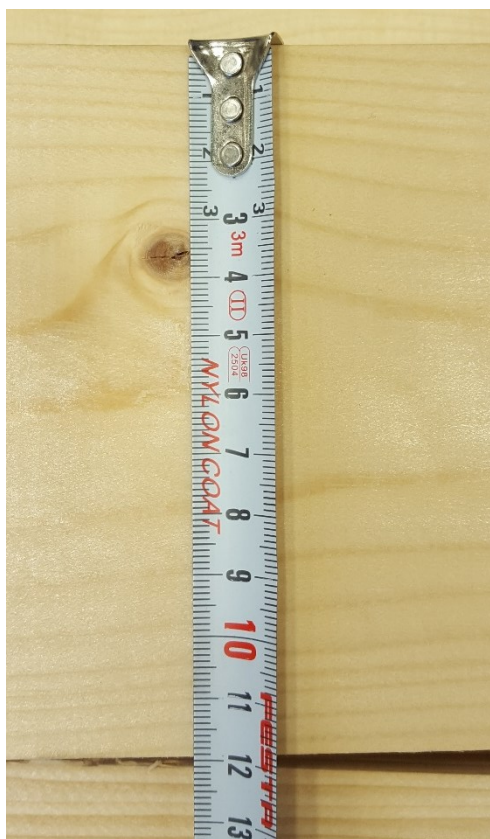


Obrázok 19.3 Testovaná konštrukcia

Na nasledujúcich obrázkoch je zobrazená priečla a stojka, použitá pre test.



Obrázok 19.4 Priečla



Obrázok 19.5 Stojka

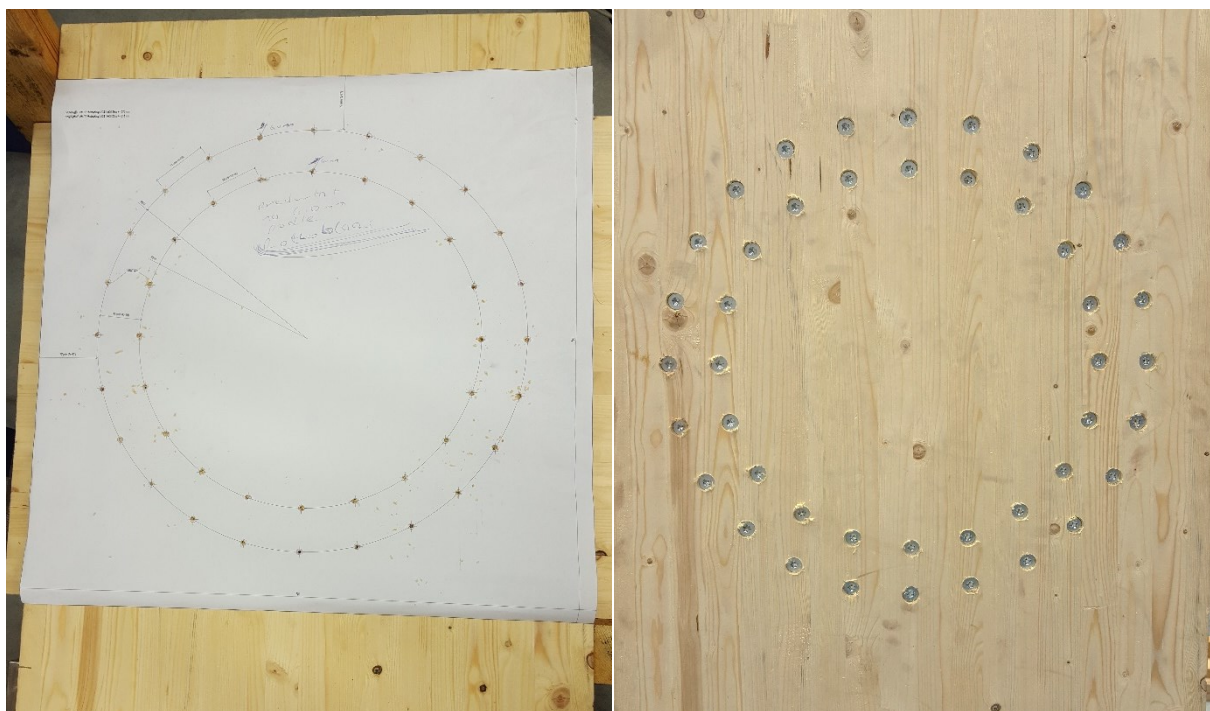
Namiesto „tradičných“ spojovacích prostriedkov tohoto typu spoja, ako sú svorníky alebo kombinácia svorníkov a kolíkov, boli použité skrutky Rothoblaas VGS11400. Táto skrutka je zobrazený na obrázku nižšie.



Obrázok 19.6 Skrutky rothoblaas VGS11400

19.3 Postup montáže

Z dôvodu rozsiahlej prípravy a pracovného postupu boli vybrané najzásadnejšie časti fotodokumentácie. Na obrázku 19.7 je zobrazená príprava a hotový momentový spoj priečle a stojky. Na obrázku 19.8 a obrázku 19.9 je zobrazený spoj, ktorý určoval okrajové podmienky testovanej konštrukcie. Spoj mal zabezpečiť prenos ťahovej sily, ktorá vznikala v priebehu testu. Prenos tlakovej sily bol zasa zabezpečený kontaktnou plochou medzi stojkami a oceľovou konštrukciou.



Obrázok 19.7 Montáž rámového spoja



Obrázok 19.8 Montáž spoja zaisťujúceho okrajové podmienky



Obrázok 19.9 Spoj šikmých skrutiek

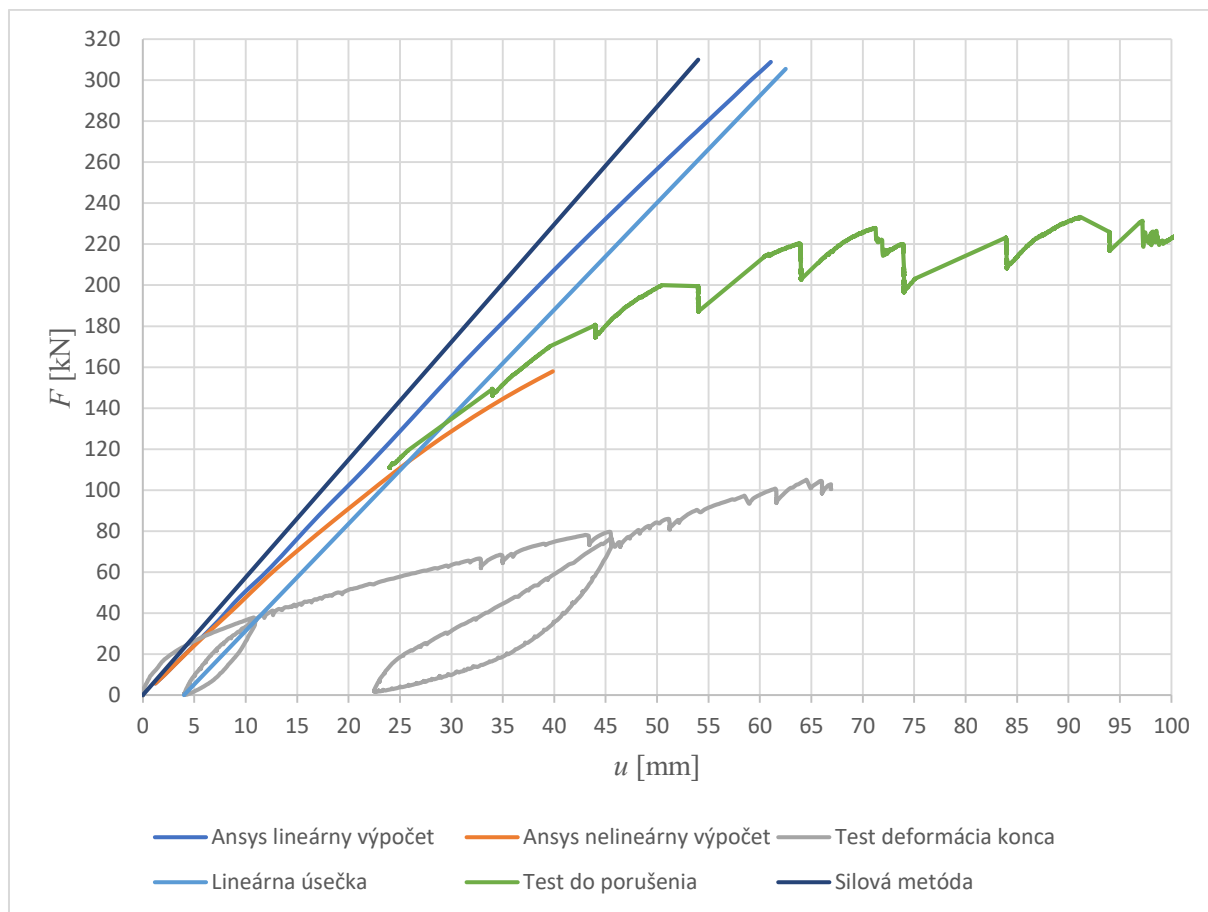
19.4 Zát'azová skúška

Zaťažovanie prebiehalo vo viacerých fázach deformačne. Konštrukcia bola najskôr zaťažená na cca 30% návrhovej únosnosti podľa normy a následne bola odľahčená. Nasledoval druhý cyklus kedy bolo zaťaženie cca 60% návrhovej hodnoty únosnosti a nasledovalo odľahčenie. Pri tomto zaťažení došlo k trhline, ktorá vznikla na stojke. Táto trhlina vznikla vplyvom nedokonalých okrajových podmienok konštrukcie. Zvyšujúcou sa zvislou silou narastala vodorovná sila vplyvom trenia medzi drevenou stojkou a oceľovou konštrukciou. Táto vodorovná sila narastala až do štádia kedy ťah kolmo na vlákna v stojke spôsobil túto trhlinu (obrázok 19.10). Napriek vzniku tejto trhliny test mohol ďalej prebiehať, pretože nemala významný vplyv na únosnosť nami skúmaného spoja. Posledné nasledovalo zaťažovanie do porušenia spoja.



Obrázok 19.10 Trhlina v stojke, ktorú spôsobil ťah kolmo na vlákna

Na grafe grafe 19.1 je znázornená závislosť vnášaného deformačného zaťaženia a posunu extenzometrov (sivá krivka, posun na konci priečle). Čierna krivka bola vytvorená podľa analytického vzťahu silovej metódy (príloha PV) so zvolenou rotačnou tuhosťou $K_{r,ser} = 19,50$ MNm/rad (charakteristická hodnota rotačnej tuhosti spoja podľa [2] a [5]). Rámový roh bol zaťažovaný a odľahčovaný (hysterézia) podľa zvolenej schémy, ktorú je vidieť na priebehu krivky (sivá krivka) reprezentujúca závislosť posunu hlavy lisu a deformácie vybraných bodov. Podľa priebehu krivky je možné sledovať zmenu tuhosti rámového rohu.



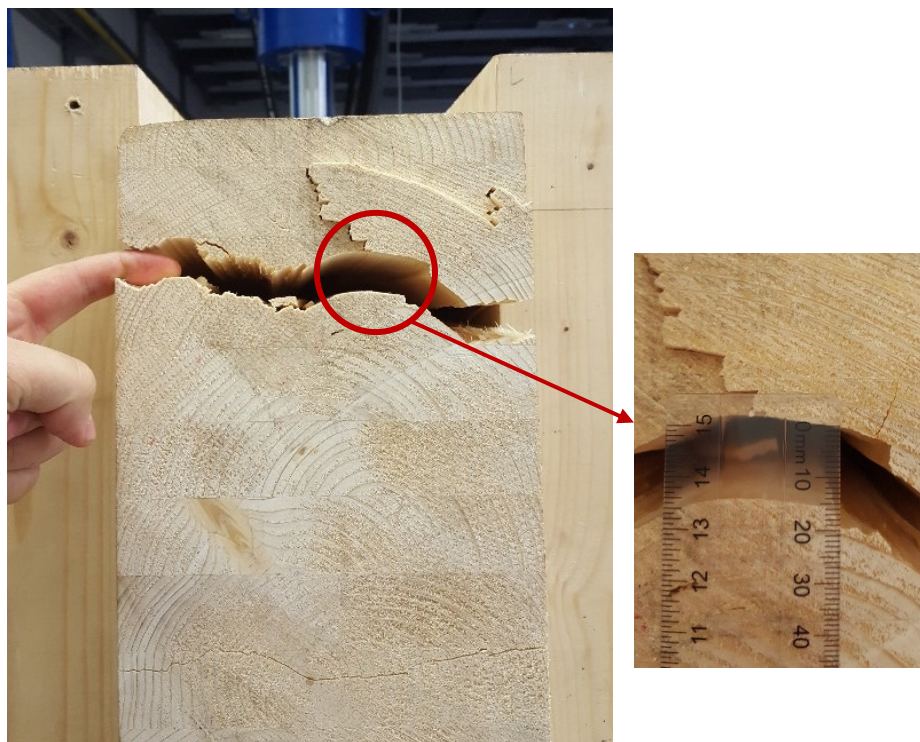
Graf 19.1 Pracovné krivky rámu

Táto tuhosť je zložená zo štyroch základných komponent.

- Prvá je tuhosť vonkajšieho oceleového rámu, ku ktorému je zostava rámového rohu pripevnená.
- Druhá tuhosť je daná prípojom oceleovej konštrukcie ku stojkám (spoj šikmých skrutiek a kontaktná plocha medzi drevom a oceľou).
- Tretia vstupná tuhosť je daná deformáciou daných prvkov (priečla, stojka).
- Štvrtá je rotačná a translačná tuhosť rámového rohu. Stanovenie tejto tuhosti bol jedným z cieľov fyzikálneho testu.

Motiváciou pre získanie tejto rotačnej a translačnej tuhosti je fakt, že táto vlastnosť spoja sa používa v prútových modeloch pre výstižnejší popis chovania konštrukcie. Podľa preloženej lineárnej úsečky (modrá krivka) cez zaťažovací a odľahčovací cyklus je možné odhadnúť tuhosť celej sústavy rámového rohu vrátane oceľovej konštrukcie a spoja. Sklon tejto úsečky udáva hľadanú tuhosť, ktorá je ďalej spracovaná (odseparovanie posunutí, pridružených tuhostí a matematický prevod posunu a sily na rotáciu a moment) tak, aby z nej bola stanovená rotačná a translačná tuhosť pre použitie v prútovom modeli, pre porovnanie rotačnej a translačnej tuhosti získanej pomocou [5]. Podľa porovnania výsledkov z numerických modelov (boli len priťažované) a fyzikálneho testu je možné skonštatovať, že je zhoda vo výslednej tuhosti (preložená úsečka v pracovnom diagrame numerického modelu). Deformácia z numerického modelu a testu je odlišná z dôvodu zaťažovania a odľahčovania pri teste. Rozdiel je daný tiež vstupnými skutočnými imperfekciami a posunutiami (spoj a kontakty nie sú aktívne v prvej fáze zaťažovania) pri teste. Súhrn týchto parametrov potom vedie na rozdielne deformácie ale tuhosť je u oboch meraní (numerické hodnoty a fyzikálny test) v dobrej zhode.

Spoj sa porušil podľa predpokladu, ktorý vyvodila kapitola 18, v ťahu kolmo na vlákna v hornej časti priečle (obrázok 19.11) pri cca 1,60 až 1,75 (hodnota násobku je závislá na zmene ramena pri zaťažovaní) násobku návrhovej hodnoty vypočítanej podľa normy. Porovnanie návrhovej hodnoty podľa normy a skutočnou silou porušenia je v tabuľke 19.1.



Obrázok 19.11 Porušenie priečle v ťahu kolmo na vlákna

Tabuľka 19.1 Porovnanie sily

Metóda výpočtu	F [kN]	M [kNm]	Násobiteľ M
Podľa normy EC5	133,33	202,66	-
Ansys, lineárny výpočet	308,89	469,51	2,32
Ansys, nelineárny výpočet	157,94	240,07	1,18
Fyzikálny test	233,33	354,66	1,75



Obrázok 19.12 Pohľad na porušenie priečlu a stojku



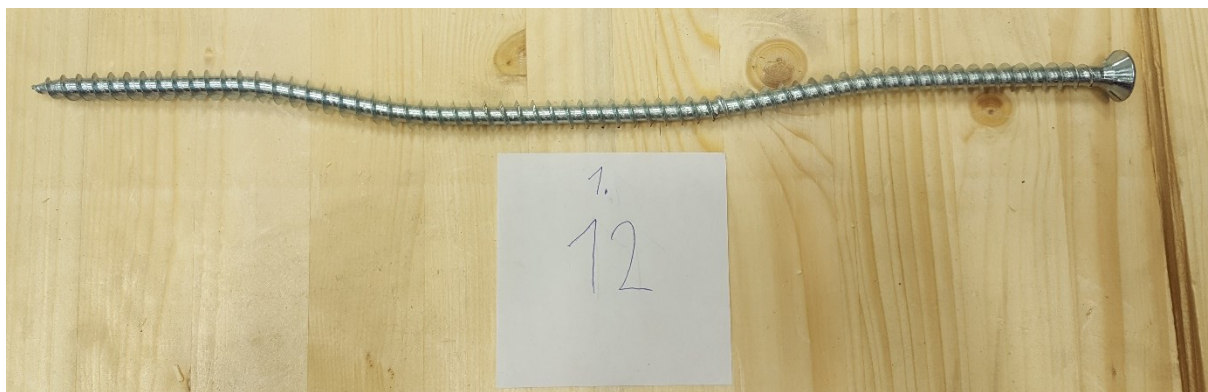
Obrázok 19.13 Ušmyknutie priečle po celej dĺžke



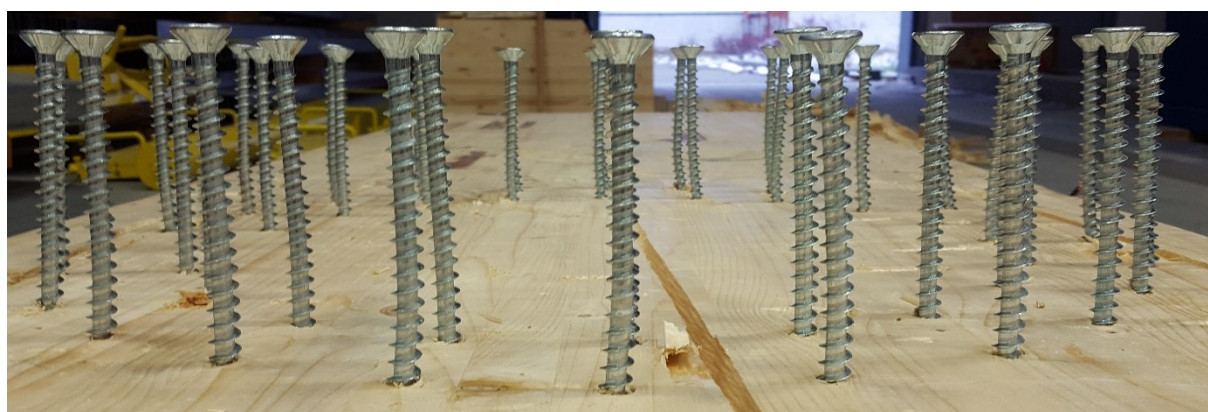
Obrázok 19.14 Pohľad na porušenie priechu, vľavo hore ťah kolmo na vlákna



Obrázok 19.15 Zátkový šmyk pri imperfekcií



Obrázok 19.16 Splastizovaná skrutka č.12 VGS11400



Obrázok 19.17 Pohľad na splastizované skrutky VSG11400 po odnatí stojky



Obrázok 19.18 Rez priečlou



Obrázok 19.19 Pohľad na splastizované skrutky VGS11400 po odnatí stojky a priečle

19.5 Záver testu

Fyzikálnym testom rámového spojenia priečle a stojky s kovovými mechanickými prostriedkami, ktoré boli „netradične“ zvolené skrutky, bola dokázaná cca 1,60 – 1,75 väčšia únosnosť, než je návrhová hodnota podľa normy [5]. Spoj sa porušil v mieste podľa predpokladu z numerických modelov v ťahu kolmo na vlákna, v rohu priečle. Naším zámerom bolo skúmať moment, ktorý tento spoj poruší bez dodatočných zosilnení (v norme ani odbornej literatúre nie sú postupy na výpočet zosilnení prvkov spoja). Tomuto porušeniu by sa dalo jednoducho zabrániť naskrutkovaním niekoľkých skrutiek kolmo na vlákna v tomto mieste, kde sa spoj porušil a podľa numerického modelu aj v symetrickom mieste spodného rohu. Takýmto zosilnením priečle by sme pravdepodobne dosiahli vyššiu únosnosť spoja. Pre potvrdenie tejto teórie by bolo nutné previesť ďalšie testy bez zosilnenej a zosilnenej priečle.

20 Záver

Diplomová práca sa zaoberala statickým riešením drevenej haly. Použitým materiálom hlavnej nosnej konštrukcie bolo lepené lamelové drevo triedy GL24h. Pre konštrukciu boli prevedené návrhy a posudky prvkov konštrukcie vrátane spojov.

V software Scia Engineer 17.1 bolo vytvorených viacero výpočtových modelov konštrukcie. Pre globálny model konštrukcie boli vypočítané hodnoty posunutia pre medzný stav únosnosti K_u a pre medzný stav použiteľnosti K_{ser} .

Prvý model, bez zadaných posunutí, slúžil pre výpočet vnútorných síl, na základe ktorých boli navrhnuté spoje a vypočítané ich tuhosti.

Druhý model, so zadanými posunutiami k_u , slúžil pre analýzu stability konštrukcie, ktorej výsledkom je násobiteľ zaťaženia α_{cr} , ktorým by museli byť zväčšené zaťaženia aby spôsobili stratu stability v pružnom stave s globálnym vlastným tvarom. Výpočtom bol zistený násobiteľ zaťaženia α_{cr} pre tri kombinácie zaťažení. Násobiteľ zaťaženia α_{cr} bol pre všetky kombinácie väčší ako 10. Tento model ďalej slúžil pre výpočet návrhových vnútorných síl, na ktoré boli posúdené prvky a spoje pre medzný stav únosnosti.

Tretí model slúžil pre medzný stav použiteľnosti, pomocou ktorého bola spočítaná celková deformácia haly a priehyby jednotlivých prvkov. Od modelu pre medzný stav únosnosti sa líšil v zadaných posunutiach k_{ser} .

Štvrtý model bol vytvorený modifikáciou prúťového a škrupinového modelu. Tento model slúžil pre výpočet stability haly.

Piaty model slúžil pre numerickú analýzu rámového spoja priečle a stojky. Bola to modifikácia škrupinového a prúťového modelu pre detailnejšie zistenie napätí a síl, ktorý vznikajú od zaťaženia, v jednotlivých prvkov.

Posledný šiesty model bol vytvorený pre potrebu zistenia stability konštrukcie fyzikálneho testu.

Fyzikálnym testom, rámového spoja priečle a stojky s použitím skrutiek, vo výskumnom stredisku FAST VŠB-TU Ostrava, bola dokázaná návrhová únosnosť spoja podľa normy a porušenie spoja nasvedčovalo numerickým modelom. Na základe jedného prevedeného testu nemôžeme vyvodiť adekvátny záver. Pre lepšie porozumenie správania sa spoja, by bolo vhodné previesť ďalšie testy.

21 Zoznam použitej literatúry

- [1] FOJTÍK, Roman, Antonín LOKAJ a Jiří GABRIEL. Dřevěné mosty a lávky. Praha: pro Lesy České republiky, s.p., a Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2017. ISBN 978-80-88265-04-7.
- [2] Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5, STEP 1: navrhování a konstrukční materiály. Přeložil Bohumil KOŽELOUH. Zlín: KODR, c1998. ISBN 80-238-2620-4.
- [3] KUKLÍK, Petr. *Dřevěné konstrukce*. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03310-4.
- [4] *Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5, STEP 2: navrhování detailů a nosných systémů*. Přeložil Bohumil KOŽELOUH. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2004. ISBN 80-86769-13-5.
- [5] ČSN EN 1995-1-1. Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1 Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: ÚNMZ, prosinec 2006.
- [6] NEUFERT, Ernst. Navrhování staveb: zásady, normy, předpisy o zařízeních, stavbě, vybavení, nárocích na prostor, prostorových vztazích, rozměrech budov, prostorech, vybavení, přístrojích z hlediska člověka jako měřítka a cíle. 2. české vyd. Přeložil Pavel SCHIER. Praha: Consultinvest, 2000. ISBN 80-901486-6-2.
- [7] KINGSPAN [online]. [cit. 2018-11-15]. Dostupné z: https://az750602.vo.msecnd.net/netxstoreviews/assetOriginal/30013_X-dek_%20CZ_%2008_2018.pdf
- [8] ČSN EN 1991-1-1. Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1 Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. Praha: ÚNMZ, březen 2004.
- [9] ČSN EN 1991-1-3. Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-3 Obecná zatížení - Zatížení sněhem. Praha: ÚNMZ, červen 2005.
- [10] ČSN EN 1991-1-4. Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-4 Obecná zatížení - Zatížení větrem. Praha: ÚNMZ, duben 2007.
- [11] ČSN EN 1993-1-1. Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1 Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: ÚNMZ, prosinec 2006.
- [12] DETAN [online]. [cit. 2018-11-15]. Dostupné z: http://downloads.halfen.com/catalogues/de/media/catalogues/tensionrodsystem/DT_16.1.pdf
- [13] ČSN EN 1993-1-8. Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8 Navrhování styčníků. Praha: ÚNMZ, prosinec 2006.
- [14] Scia Engineer [online]. [cit. 2018-11-15]. Dostupné z: https://help.scia.net/17.0/cs/rb/modelling/orthotropic_properties_of_slab_members.htm
- [15] EXTEN CZ, spol. s r.o. [online]. [cit. 2018-11-15]. Dostupné z: <http://exten.cz/>

[16] *Ingenia* [online]. [cit. 2018-11-15]. Dostupné z: <http://www.ingenia.cz/>

[17] *Rothoblaas* [online]. [cit. 2018-11-15]. Dostupné z: <https://www.rothoblaas.com/>

Použité výpočtové a grafické programy

[18] Scia Engineer 17.1 (študentská licencia)

[19] AutoCAD Architecture 2016 (študentská licencia)

[20] Skicár

[21] SketchUp 2018

[22] Artlantis studio 5.1

[23] Microsoft Office 2016 (študentská licencia)

22 Zoznam použitých obrázkov, tabuliek a grafov

Zoznam použitých obrázkov

Obrázok 2.1 Rámové sústavy: a) s rozoberateľným rámovým rohom; b) so zakriveným rámovým rohom; c) s kruhom hmoždíkov; d) s rámovým rohom so zubovitým spojom; e) trojkľbový oblúk; f) dvojkľbový oblúk zdroj [2]

Obrázok 2.2 Plnostenné rámy zdroj [3]

Obrázok 2.3 Možnosti prevedenia rámového rohu zdroj [3]

Obrázok 2.4 Prierez ozubového spoja zdroj [3]

Obrázok 2.5 Plnostenné oblúky zdroj [3]

Obrázok 3.1 Rámové rohy s mechanickými spojmi: a) typický rámový roh s kolíky, b) zalisované hmoždíky, c) zosílenie prvkov: 1 vlepéné prúty alebo 2 prilepené prekližkové dosky, d) špeciálne usporiadanie kolíkového spoja zdroj [4]

Obrázok 3.2 Geometria rámu so stojkami tvaru V zdroj [4]

Obrázok 3.3 Rámové rohy s veľkým zubovitým spojom a), s vlepovanými prútmi b), rámový roh so šikmo vlepovanými prútmi c) zdroj [4]

Obrázok 4.1 Rozdelenie síl na jednotlivé spojovacie prostriedy v spojoch tuhých v ohybe zdroj [2]

Obrázok 4.2 Príklady spojov tuhých v ohybe s mechanickými spojovacími prostriedkami, a) pripojenie stĺpu a zábradlia k priečnemu nosníku lávky pre chodcov, b) styk tuhý v ohybe spojitého nosníka alebo oblúka a c) rohový spoj trojkľbového rámu zdroj [2]

Obrázok 4.3 Spoje tuhé v ohybe: a) styk priameho konštrukčného prvku, b) skrížene usporiadané konštrukčné prvky, c) geometria a zaťaženie spojovacích prostriedkov zdroj [2]

Obrázok 4.4 Napätie v spoji tuhom v ohybe. a) usporiadanie spojovacích prostriedkov, b) napätie v šmyku v reze prechádzajúcim ťažiskom spoja a c) napätie v ťahu kolmo na vlákna vo vzdialenosti 100 mm od konca konštrukčného prvku (Racher a Gallimard, 1991) zdroj [2]

Obrázok 4.5 Zjednodušená závislosť zaťaženia-zatlačenia zdroj [2]

Obrázok 4.6 Zlyhanie v konštrukčnom prvku 2 zdroj [2]

Obrázok 4.7 Zlyhanie v konštrukčnom prvku 1 zdroj [2]

Obrázok 4.8 Mechanizmus zlyhania 1a) zdroj [2]

Obrázok 4.9 Mechanizmus zlyhania 2a) zdroj [2]

Obrázok 4.10 mechanizmus zlyhania 2b) zdroj [2]

Obrázok 4.11 Mechanizmus zlyhania 3 zdroj [2]

Obrázok 4.12 Upravený diagram Möllera jednostržný spoj ($\beta = 1$) zdroj [2]

Obrázok 4.13 Upravený diagram Möllera dvojstrižný spoj ($\beta = 1$) zdroj [2]

Obrázok 5.1 Vizualizácia haly

Obrázok 5.2 Situovanie haly

Obrázok 5.3 Vizualizácia záloženia stavby

Obrázok 5.4 Strešný panel [7]

Obrázok 5.5 Stenový panel [7]

Obrázok 5.6 Axonometrický pohľad

Obrázok 6.1 Zaťažovacie stavy snehom zdroj [9]

Obrázok 7.1 Súčiniteľ expozície $c_e(z)$ pre $c_0 = 1,00$ a $k_I = 1,00$ zdroj [10]

Obrázok 7.2 Kategória terénu, ilustrácia zdroj [10]

Obrázok 7.3 Dynamický tlak na povrchy zdroj [10]

Obrázok 7.4 Referenčná výška z_e , závislá na h a b , a odpovedajúci profil dynamického tlaku zdroj [10]

Obrázok 7.5 Pôdorys objektu, priečny vietor

Obrázok 7.6 Pohľad na stenu, priečny vietor

Obrázok 7.7 Pôdorys strechy, priečny vietor

Obrázok 7.8 Pôdorys objektu, pozdĺžny vietor

Obrázok 7.9 Pohľad na stenu, pozdĺžny vietor

Obrázok 7.10 Pôdorys strechy, pozdĺžny vietor

Obrázok 11.1 Lokálna strata stability prvku rozpera strechy - prúťový model S1/1 $\alpha_{cr} = 3,00$

Obrázok 11.2 Globálna strata stability rámu - prúťový model S1/43 $\alpha_{cr} = 10,85$

Obrázok 11.3 Globálna strata stability konštrukcie haly - prúťový model S1/80 $\alpha_{cr} = 19,40$

Obrázok 11.4 Globálna strata stability konštrukcie haly - prúťový model S1/94 $\alpha_{cr} = 23,95$

Obrázok 11.5 Globálna strata stability rámu – modifikovaný model S4/38 $\alpha_{cr} = 9,37$

Obrázok 12.1 Vzperné dĺžky rámu zdroj [2]

Obrázok 15.1 Spôsoby porušenia pre spoje ocel'-drevo zdroj [5]

Obrázok 15.2 Spôsoby porušenia pre spoje z dreva a dosiek zdroj [5]

Obrázok 15.3 Rozteče a vzdialenosti od koncov a okrajov zdroj [5] (a) rozteče rovnobežne s vláknami v radi a kolmo ku vláknam medzi radami (b) vzdialenosti od okrajov a koncov

Obrázok 16.1 Napätie v účinnom priereze kútového zvaru [13]

Obrázok 17.1 Rámový roh - vizualizácia

Obrázok 17.2 Rozdelenie zaťaženia s očíslovaním spojovacích prostriedkov vonkajšieho kruhu a) pre posudok v ose stojky; b) pre posudok v ose priečle

Obrázok 17.3 Vrcholový kĺb - vizualizácia

Obrázok 17.4 Rozdelenie síl pre posudok svorníkového spoja

Obrázok 17.5 Pätný klb - vizualizácia

Obrázok 17.6 Rozdelenie síl pre posudok svorníkového spoja

Obrázok 17.7 Spoj rozpera priečla - vizualizácia

Obrázok 17.8 Spoj rozpery s priečlou - vizualizácia

Obrázok 17.9 Spoj oceľového stĺpa s oceľovým priečnikom

Obrázok 17.10 Spoj oceľového priečnika so stojkou

Obrázok 18.1 3D pohľad na spoj

Obrázok 18.2 Sieť konečných prvkov

Obrázok 18.3 Rozdelenie síl od momentu ortotropný model

Obrázok 18.4 Deformácia vrcholu zľava, prútový model, izotropný škupinový model, ortotropný škupinový model

Obrázok 18.5 Priebeh napätí v škupinovom izotropnom modeli

Obrázok 18.6 Priebeh napätí v škupinovom ortotropnom modeli

Obrázok 18.7 Priebeh napätí ťahu kolmo na vlákna vľavo izotropný, vpravo ortotropný model

Obrázok 18.8 Priebeh návrhových hodnôt napätí kolmo na vlákna, vľavo izotropný, vpravo ortotropný model

Obrázok 18.9 Priebeh charakteristických hodnôt napätí kolmo na vlákna, vľavo izotropný, vpravo ortotropný model

Obrázok 18.10 Priebeh fyzikálnych hodnôt napätí kolmo na vlákna, vľavo izotropný, vpravo ortotropný model

Obrázok 18.11 Priebeh šmykových napätí, vľavo izotropný, vpravo ortotropný model

Obrázok 18.12 Priebeh charakteristických hodnôt šmykových napätí, vľavo izotropný, vpravo ortotropný model

Obrázok 18.13 Priebeh návrhových hodnôt šmykových napätí, vľavo izotropný, vpravo ortotropný model

Obrázok 18.14 Priebeh charakteristických hodnôt šmykových napätí dreva C24, vľavo izotropný, vpravo ortotropný model

Obrázok 19.1 Výpočtový model v Scia Engineer 17.1

Obrázok 19.2 Stráta stability modelu $\alpha_{cr} = 4,86$, vľavo axonometrický pohľad, vpravo pohľad zhora

Obrázok 19.3 Testovaná konštrukcia

Obrázok 19.4 Priečla

Obrázok 19.5 Stojka

Obrázok 19.6 Skrutky rothoblaas VGS11400

Obrázok 19.7 Montáž rámového spoja

Obrázok 19.8 Montáž spoja zaisťujúceho okrajové podmienky

Obrázok 19.9 Spoj šikmých skrutiek

Obrázok 19.10 Trlina v stojke, ktorú spôsobil ťah kolmo na vlákna

Obrázok 19.11 Porušenie priečle v ťahu kolmo na vlákna

Obrázok 19.12 Pohľad na porušenú priečlu a stojku

Obrázok 19.13 Ušmyknutie priečle po celej dĺžke

Obrázok 19.14 Pohľad na porušenú priečlu, vľavo hore ťah kolmo na vlákna

Obrázok 19.15 Zátkový šmyk pri imperfekcií

Obrázok 19.16 Splastizovaná skrutka č.12 VGS11400

Obrázok 19.17 Pohľad na splastizované skrutky VSG11400 po odnatí stojky

Obrázok 19.18 Rez priečlou

Obrázok 19.19 Pohľad na splastizované skrutky VGS11400 po odnatí stojky a priečle

Zoznam použitých tabuliek

Tabuľka 4.1 Doporučené minimálne vzdialenosti podľa [2]

Tabuľka 5.1 Posúdenie strešného panelu

Tabuľka 5.2 Posúdenie stenového panelu

Tabuľka 6.1 Tvarový súčiniteľ

Tabuľka 7.1 Výsledná hodnota maximálneho dynamického tlaku

Tabuľka 7.2 Súčiniteľ vonkajšieho tlaku vetra pre $c_{pe,10}$ pre priečny vietor

Tabuľka 7.3 Súčiniteľ vonkajšieho tlaku vetra pre $c_{pe,10}$ pre pozdĺžny vietor

Tabuľka 7.4 Výsledné hodnoty zaťaženia priečnym vetrom pre $c_{pi} = +0,2$

Tabuľka 7.5 Výsledné hodnoty zaťaženia pozdĺžnym vetrom pre $c_{pi} = +0,2$

Tabuľka 7.6 Výsledné hodnoty zaťaženia priečnym vetrom pre $c_{pi} = -0,3$

Tabuľka 7.7 Výsledné hodnoty zaťaženia pozdĺžnym vetrom pre $c_{pi} = -0,3$

Tabuľka 7.8 Priečny vietor 0,2 ++ ++

Tabuľka 7.9 Priečny vietor 0,2 -- --

Tabuľka 7.10 Priečny vietor 0,2 ++ --

Tabuľka 7.11 Priečny vietor 0,2 -- ++

Tabuľka 7.12 Priečny vietor -0,3 ++ ++

Tabuľka 7.13 Priečny vietor -0,3 -- --

Tabuľka 7.14 Priečny vietor -0,3 ++ --
Tabuľka 7.15 Priečny vietor -0,3 -- ++
Tabuľka 7.16 Pozdĺžny vietor 0,2
Tabuľka 7.17 Pozdĺžny vietor -0,3
Tabuľka 8.1 zaťažovacie stavy
Tabuľka 8.2 Vzťah zaťažovacích stavov
Tabuľka 9.1 Nelineárny výpočet bez posunutí
Tabuľka 9.2 Nelineárny výpočet s posunutiami
Tabuľka 10.1 Hodnoty vypočítaných tuhostí spojov
Tabuľka 11.1 Výsledky stabilitného výpočtu
Tabuľka 12.1 Súčinitele imperfekcie pre krivky vzpernej pevnosti
Tabuľka 13.1 Priečla – prierezové charakteristiky
Tabuľka 13.2 Priečla – charakteristiky vzperu
Tabuľka 13.3 Priečla - ohyb so strátou stability so vzperným tlakom NC27
Tabuľka 13.4 Priečla – šmyk v mieste rámového rohu NC27
Tabuľka 13.5 Priečla – šmyk vo vrchole NC32
Tabuľka 13.6 Stojka – prierezové charakteristiky
Tabuľka 13.7 Stojka – charakteristiky vzperu
Tabuľka 13.8 Stojka - ohyb so strátou stability so vzperným tlakom NC27
Tabuľka 13.9 Stojka – šmyk v mieste rámového rohu NC27
Tabuľka 13.10 Stojka – šmyk v mieste uloženia stĺpu NC113
Tabuľka 13.11 Rozpera strecha – prierezové charakteristiky
Tabuľka 13.12 Rozpera strecha – charakteristiky vzperu
Tabuľka 13.13 Rozpera strecha – ťah rovnobežne s vláknami NC116
Tabuľka 13.14 Rozpera strecha – vzperný tlak NC113
Tabuľka 13.15 Rozpera stena – prierezové charakteristiky
Tabuľka 13.16 Rozpera stena – charakteristiky vzperu
Tabuľka 13.17 Rozpera stena – ťah rovnobežne s vláknami NC102
Tabuľka 13.18 Rozpera stena – vzperný tlak NC144
Tabuľka 13.19 Stužidlo strecha – prierezové charakteristiky
Tabuľka 13.20 Stužidlo strecha - ťah
Tabuľka 13.21 Stužidlo stena – prierezové charakteristiky
Tabuľka 13.22 Stužidlo stena - ťah
Tabuľka 13.23 Stužidlo stena čelná – prierezové charakteristiky

Tabuľka 13.24 Stúžidlo stena čelná - ťah

Tabuľka 13.25 Stĺp čelná stena – prierezové charakteristiky

Tabuľka 13.26 Stĺp čelná stena – charakteristiky vzperu

Tabuľka 13.27 Stĺp čelná stena - šmyk

Tabuľka 13.28 Stĺp čelná stena – dvojsoj ohyb so vzperným tlakom

Tabuľka 13.29 Nosník čelná stena – nad otvorom

Tabuľka 13.30 Nosník čelná stena – charakteristiky vzperu

Tabuľka 13.31 Nosník čelná stena nad otvorom - šmyk

Tabuľka 13.32 Nosník čelná stena nad otvorom – ohyb so vzperným tlakom

Tabuľka 13.33 Nosník čelná stena – prierezové charakteristiky

Tabuľka 13.34 Nosník čelná stena – charakteristiky vzperu

Tabuľka 13.35 Nosník čelná stena - šmyk

Tabuľka 13.36 Nosník čelná stena – ohyb so vzperným tlakom

Tabuľka 14.1 Priečla – posúdenie MSP

Tabuľka 14.2 Stojka – posúdenie MSP

Tabuľka 14.3 Stĺp čelná stena – posudok MSP

Tabuľka 14.4 Nosník čelná stena nad otvorom – posudenie MSP

Tabuľka 15.1 Stanovenie minimálnych roztečí a vzdialenosti

Tabuľka 15.2 Hodnoty minimálnych roztečí a vzdialenosti od čela a okrajov pre osovo zaťažené vruty

Tabuľka 16.1 Doporučená účinná výška zvaru

Tabuľka 17.1 Návrhové hodnoty vnútorných síl

Tabuľka 17.2 Geometria rámovej priečle a stojky, rozpätie

Tabuľka 17.3 Geometria spoja a únosnosť spoja

Tabuľka 17.4 Zaťaženie spojovacieho prostriedku od vnútornej sily

Tabuľka 17.5 Zaťaženie jednotlivých spojovacích prostriedkov

Tabuľka 17.6 Posudok jednotlivých spojovacích prostriedkov

Tabuľka 17.7 Návrhové hodnoty vnútorných síl NC143

Tabuľka 17.8 Geometria spoja a únosnosť spoja

Tabuľka 17.9 Zaťaženie spojovacieho prostriedku od vnútornej sily

Tabuľka 17.10 Čelná doska - materiálové a prierezové veličiny

Tabuľka 17.11 Oceľová doska - rozteče

Tabuľka 17.12 Čelná doska – návrhové sily a únosnosti

Tabuľka 17.13 Čelný plech – prostý ohyb

Tabuľka 17.14 Vnútorne sily
Tabuľka 17.15 Návrh a geometria čapu
Tabuľka 17.16 Únosnosti čapu
Tabuľka 17.17 Návrhové vnútorné sily NC143
Tabuľka 17.18 Charakteristiky a napätie v zvare
Tabuľka 17.19 Návrhové vnútorné sily NC143
Tabuľka 17.20 Charakteristiky a napätie v zvare
Tabuľka 17.21 Návrhové hodnoty vnútorných síl NC141
Tabuľka 17.22 Geometria spoja a únosnosť spoja
Tabuľka 17.23 Zaťaženie spojovacieho prostriedku od vnútornej sily
Tabuľka 17.24 Styčnickový plech - materiálové a prierezové veličiny
Tabuľka 17.25 Oceľová doska - rozteče
Tabuľka 17.26 Čelná doska – návrhové sily a únosnosti
Tabuľka 17.27 Čelný plech – prostý ohyb
Tabuľka 17.28 Vnútorne sily
Tabuľka 17.29 Návrh a geometria čapu
Tabuľka 17.30 Únosnosti čapu
Tabuľka 17.31 Návrhové vnútorné sily NC143
Tabuľka 17.32 Charakteristiky a napätie v zvare
Tabuľka 17.33 Návrh a posudok svorníkového spoja
Tabuľka 17.34 Návrh a posudok svorníkového spoja
Tabuľka 17.35 Návrh a posudok svorníkového spoja
Tabuľka 17.36 Čelná doska - materiálové a prierezové veličiny
Tabuľka 17.37 Oceľová doska - rozteče
Tabuľka 17.38 Čelná doska – návrhové sily a únosnosti
Tabuľka 17.39 Čelná doska - materiálové a prierezové veličiny
Tabuľka 17.40 Oceľová doska - rozteče
Tabuľka 17.41 Čelná doska – návrhové sily a únosnosti
Tabuľka 17.42 Návrh a posudok svorníkového spoja
Tabuľka 17.43 Návrh a posudok svorníkového spoja
Tabuľka 17.44 Čelná doska - materiálové a prierezové veličiny
Tabuľka 17.45 Oceľová doska - rozteče
Tabuľka 17.46 Čelná doska – návrhové sily a únosnosti
Tabuľka 17.47 Návrhové vnútorné sily NC143

Tabuľka 17.48 Charakteristiky a napätie v zvare
 Tabuľka 17.49 Čelná doska - materiálové a prierezové veličiny
 Tabuľka 17.50 Oceľová doska - rozteče
 Tabuľka 17.51 Čelná doska – návrhové sily a únosnosti
 Tabuľka 17.52 Priechna únosnosť vrutov – pevnosť a rozmery vrutu
 Tabuľka 17.53 Priechna únosnosť vrutov - rozteče
 Tabuľka 17.54 Priechna únosnosť vrutov – návrhové sily a únosnosti
 Tabuľka 17.55 Osová únosnosť vrutov – pevnosť a rozmery vrutu
 Tabuľka 17.56 Osová únosnosť vrutov - rozteče
 Tabuľka 17.57 Osová únosnosť vrutov – návrhové sily a únosnosti
 Tabuľka 17.58 Čelná doska - materiálové a prierezové veličiny
 Tabuľka 17.59 Čelná oceľová doska - rozteče
 Tabuľka 17.60 Čelná doska – návrhové sily a únosnosti
 Tabuľka 17.61 Návrhové vnútorné sily NC143
 Tabuľka 17.62 Charakteristiky a napätie v zvare
 Tabuľka 18.1 Fyzikálne konštanty prvkov
 Tabuľka 18.2 Porovnanie sily od momentu
 Tabuľka 18.3 Porovnanie deformácií
 Tabuľka 18.4 Porovnanie napätí σ_m
 Tabuľka 18.5 Porovnanie napätí τ
 Tabuľka 19.1 Porovnanie sily

Zoznam použitých grafov

Graf 9.1 Porovnanie vnútorných síl v priečli NC27
 Graf 9.2 Porovanie vnútorných síl v stojke NC27
 Graf 10.1 Závislosť deformácie na rotačnej tuhosti spoja rámu
 Graf 10.2 Závislosť ohybového momentu na rotačnej tuhosti spoja rámu
 Graf 18.1 Graf závislosti deformácie na rotačnej tuhosti spoja
 Graf 19.1 Pracovné krivky rámu

23 Prílohy

PI Názvoslovie prvkov konštrukcie

PII Zoznam kombinácií

PIII Priebehy vnútorných síl vybraných prvkov

PIV Porovnanie spotreby dreva a spojovacích prostriedkov

PV Silová metóda

Ostatné

CD nosič

Výkresy

Výkres č. 01	Pôdorys	mierka 1:100
--------------	---------	--------------

Výkres č. 02	Detail spoja	mierka 1:5
--------------	--------------	------------

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí

Numerická analýza dreveného rámového spoja s kovovými spojovacími prostriedkami

Numerical analysis of the timber frame connection with metal fasteners

Prílohy

Študent:

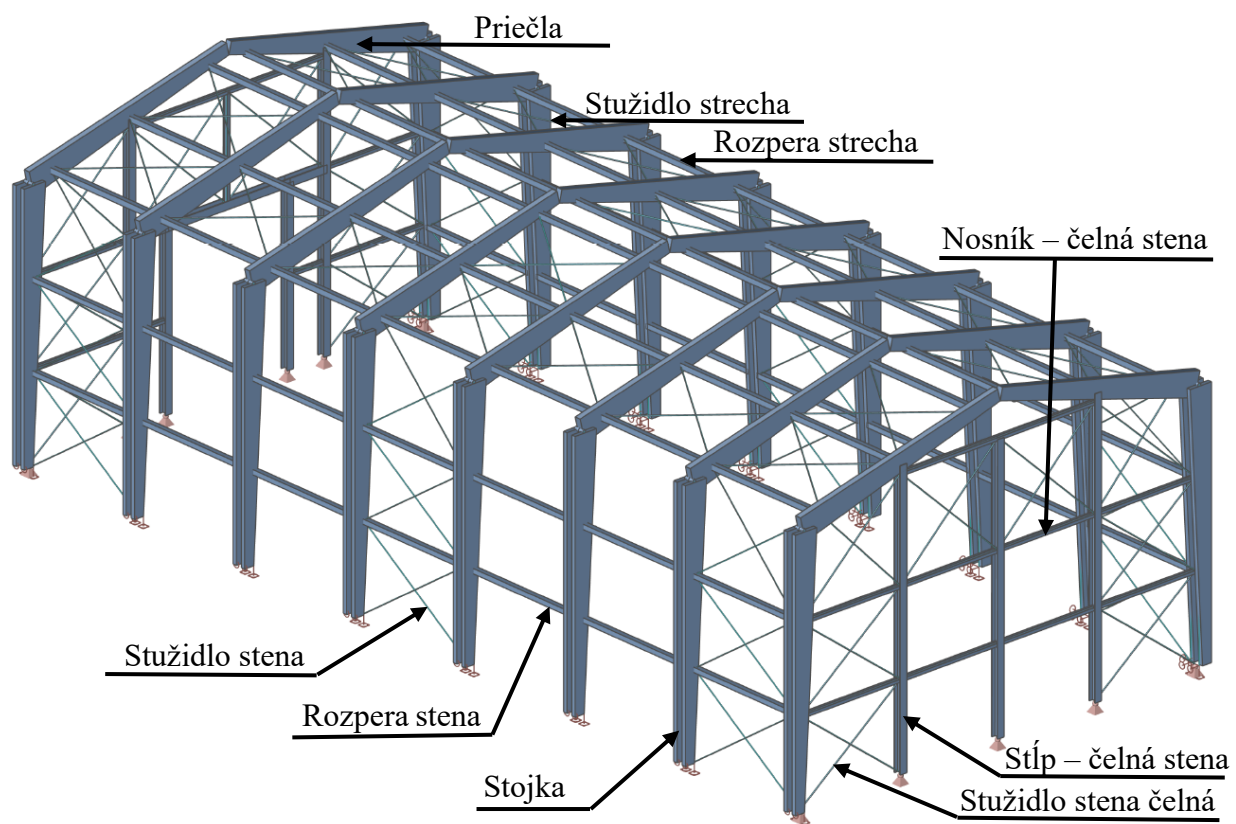
Bc. Marek Johanides

Vedúci diplomovej práce:

Ing. David Mikolášek, Ph.D.

Ostrava 2018

PI Názvoslovie prvkov konštrukcie



PII Zoznam kombinácií

Nelineárny kombinace

Jméno	Typ	Zatěžovací stavy	Souč. [-]
Studentská verze *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *St			
NC1	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,35
NC2	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,00
NC3	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,35
		ZS6 - Pričný vietor +0,2 ++ ++	0,90
NC4	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,35
		ZS7 - Pričný vietor +0,2 ++ --	0,90
NC5	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,35
		ZS8 - Pričný vietor +0,2 -- --	0,90
NC6	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,35
		ZS9 - Pričný vietor +0,2 -- ++	0,90
NC7	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,35
		ZS10 - Pričný vietor -0,3 ++ ++	0,90
NC8	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,35
		ZS11 - Pričný vietor -0,3 ++ --	0,90
NC9	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,35
		ZS12 - Pričný vietor -0,3 -- --	0,90
NC10	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,35
		ZS13 - Pričný vietor -0,3 -- ++	0,90
NC11	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,35
		ZS14 - Pozdĺžny vietor +0,2	0,90
NC12	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,35
		ZS15 - Pozdĺžny vietor -0,3	0,90
NC13	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,35
		ZS3 - Sneh celý	1,50
NC14	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,35
		ZS4 - Sneh vpravo	1,50
NC15	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,35
		ZS5 - Sneh vľavo	1,50
NC16	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,35
		ZS3 - Sneh celý	1,50
		ZS6 - Pričný vietor +0,2 ++ ++	0,90
NC17	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,35
		ZS4 - Sneh vpravo	1,50
		ZS6 - Pričný vietor +0,2 ++ ++	0,90
NC18	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,35
		ZS3 - Sneh celý	1,50
		ZS7 - Pričný vietor +0,2 ++ --	0,90
NC19	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,35
		ZS5 - Sneh vľavo	1,50
		ZS6 - Pričný vietor +0,2 ++ ++	0,90
NC20	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,35
		ZS4 - Sneh vpravo	1,50
		ZS7 - Pričný vietor +0,2 ++ --	0,90
Studentská verze *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *St			
		ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,35
		ZS3 - Sneh celý	1,50
Studentská verze *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *St			

Jméno	Typ	Zatěžovací stavy	Souč. [-]
Studentská verze *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze*			
NC21	Únosnost	ZS8 - Priečný vietor +0,2 -- --	0,90
NC22	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,35
		ZS5 - Sneh vľavo	1,50
		ZS7 - Priečný vietor +0,2 ++ --	0,90
NC23	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,35
		ZS4 - Sneh vpravo	1,50
		ZS8 - Priečný vietor +0,2 -- --	0,90
NC24	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,35
		ZS3 - Sneh celý	1,50
		ZS9 - Priečný vietor +0,2 -- ++	0,90
NC25	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,35
		ZS5 - Sneh vľavo	1,50
		ZS8 - Priečný vietor +0,2 -- --	0,90
NC26	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,35
		ZS4 - Sneh vpravo	1,50
		ZS9 - Priečný vietor +0,2 -- ++	0,90
NC27	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,35
		ZS3 - Sneh celý	1,50
		ZS10 - Priečný vietor -0,3 ++ ++	0,90
NC28	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,35
		ZS5 - Sneh vľavo	1,50
		ZS9 - Priečný vietor +0,2 -- ++	0,90
NC29	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,35
		ZS4 - Sneh vpravo	1,50
		ZS10 - Priečný vietor -0,3 ++ ++	0,90
NC30	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,35
		ZS3 - Sneh celý	1,50
		ZS11 - Priečný vietor -0,3 ++ --	0,90
NC31	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,35
		ZS5 - Sneh vľavo	1,50
		ZS10 - Priečný vietor -0,3 ++ ++	0,90
NC32	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,35
		ZS4 - Sneh vpravo	1,50
		ZS11 - Priečný vietor -0,3 ++ --	0,90
NC33	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,35
		ZS3 - Sneh celý	1,50
		ZS12 - Priečný vietor -0,3 -- --	0,90
NC34	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,35
		ZS5 - Sneh vľavo	1,50
		ZS11 - Priečný vietor -0,3 ++ --	0,90
NC35	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,35
		ZS4 - Sneh vpravo	1,50
		ZS12 - Priečný vietor -0,3 -- --	0,90
NC36	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,35
		ZS3 - Sneh celý	1,50
		ZS13 - Priečný vietor -0,3 -- ++	0,90
NC37	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,35
		ZS5 - Sneh vľavo	1,50
		ZS12 - Priečný vietor -0,3 -- --	0,90
Studentská verze *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze*			
NC38	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,35
		ZS4 - Sneh vpravo	1,50

Studentská verze *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze

*Studentská verze^a *Studentská verze^b *Studentská verze^c *Studentská verze^d *Studentská verze^e *Studentská verze^f *Studentská verze^g *Studentská verze^h *St

Jméno	Typ	Zatěžovací stavy	Souč. [-]
Studentská verze *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *St			
NC59	Únosnost	ZS1 - Vlastná tíž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zaťaženie	1,00
		ZS3 - Sneh celý	1,50
		ZS6 - Pričný vietor +0,2 ++ ++	0,90
NC60	Únosnost	ZS1 - Vlastná tíž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zaťaženie	1,00
		ZS4 - Sneh vpravo	1,50
		ZS6 - Pričný vietor +0,2 ++ ++	0,90
NC61	Únosnost	ZS1 - Vlastná tíž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zaťaženie	1,00
		ZS3 - Sneh celý	1,50
		ZS7 - Pričný vietor +0,2 ++ --	0,90
NC62	Únosnost	ZS1 - Vlastná tíž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zaťaženie	1,00
		ZS5 - Sneh vľavo	1,50
		ZS6 - Pričný vietor +0,2 ++ ++	0,90
NC63	Únosnost	ZS1 - Vlastná tíž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zaťaženie	1,00
		ZS4 - Sneh vpravo	1,50
		ZS7 - Pričný vietor +0,2 ++ --	0,90
NC64	Únosnost	ZS1 - Vlastná tíž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zaťaženie	1,00
		ZS3 - Sneh celý	1,50
		ZS8 - Pričný vietor +0,2 -- --	0,90
NC65	Únosnost	ZS1 - Vlastná tíž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zaťaženie	1,00
		ZS5 - Sneh vľavo	1,50
		ZS7 - Pričný vietor +0,2 ++ --	0,90
NC66	Únosnost	ZS1 - Vlastná tíž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zaťaženie	1,00
		ZS4 - Sneh vpravo	1,50
		ZS8 - Pričný vietor +0,2 -- --	0,90
NC67	Únosnost	ZS1 - Vlastná tíž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zaťaženie	1,00
		ZS3 - Sneh celý	1,50
		ZS9 - Pričný vietor +0,2 -- ++	0,90
NC68	Únosnost	ZS1 - Vlastná tíž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zaťaženie	1,00
		ZS5 - Sneh vľavo	1,50
		ZS8 - Pričný vietor +0,2 -- --	0,90
NC69	Únosnost	ZS1 - Vlastná tíž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zaťaženie	1,00
		ZS4 - Sneh vpravo	1,50
		ZS9 - Pričný vietor +0,2 -- ++	0,90
NC70	Únosnost	ZS1 - Vlastná tíž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zaťaženie	1,00
		ZS3 - Sneh celý	1,50
		ZS10 - Pričný vietor -0,3 ++ ++	0,90
NC71	Únosnost	ZS1 - Vlastná tíž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zaťaženie	1,00
		ZS5 - Sneh vľavo	1,50
		ZS9 - Pričný vietor +0,2 -- ++	0,90
NC72	Únosnost	ZS1 - Vlastná tíž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zaťaženie	1,00
		ZS4 - Sneh vpravo	1,50
		ZS10 - Pričný vietor -0,3 ++ ++	0,90
NC73	Únosnost	ZS1 - Vlastná tíž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zaťaženie	1,00
		ZS3 - Sneh celý	1,50
		ZS11 - Pričný vietor -0,3 ++ --	0,90
NC74	Únosnost	ZS1 - Vlastná tíž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zaťaženie	1,00
		ZS5 - Sneh vľavo	1,50
		ZS10 - Pričný vietor -0,3 ++ ++	0,90
NC75	Únosnost	ZS1 - Vlastná tíž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zaťaženie	1,00
		ZS4 - Sneh vpravo	1,50
		ZS11 - Pričný vietor -0,3 ++ --	0,90
NC76	Únosnost	ZS1 - Vlastná tíž	1,00
Studentská verze *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *			

Jméno	Typ	Zatěžovací stavy	Souč. [-]
Studentská verze *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *St			
NC76	Únosnost	ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,00
		ZS3 - Sneh celý	1,50
		ZS12 - Priechýny vietor -0,3 -- --	0,90
NC77	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,00
		ZS5 - Sneh vľavo	1,50
		ZS11 - Priechýny vietor -0,3 ++ --	0,90
NC78	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,00
		ZS4 - Sneh vpravo	1,50
		ZS12 - Priechýny vietor -0,3 -- --	0,90
NC79	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,00
		ZS3 - Sneh celý	1,50
		ZS13 - Priechýny vietor -0,3 -- ++	0,90
NC80	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,00
		ZS5 - Sneh vľavo	1,50
		ZS12 - Priechýny vietor -0,3 -- --	0,90
NC81	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,00
		ZS4 - Sneh vpravo	1,50
		ZS13 - Priechýny vietor -0,3 -- ++	0,90
NC82	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,00
		ZS3 - Sneh celý	1,50
		ZS14 - Pozdĺžny vietor +0,2	0,90
NC83	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,00
		ZS5 - Sneh vľavo	1,50
		ZS13 - Priechýny vietor -0,3 -- ++	0,90
NC84	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,00
		ZS4 - Sneh vpravo	1,50
		ZS14 - Pozdĺžny vietor +0,2	0,90
NC85	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,00
		ZS3 - Sneh celý	1,50
		ZS15 - Pozdĺžny vietor -0,3	0,90
NC86	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,00
		ZS5 - Sneh vľavo	1,50
		ZS14 - Pozdĺžny vietor +0,2	0,90
NC87	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,00
		ZS4 - Sneh vpravo	1,50
		ZS15 - Pozdĺžny vietor -0,3	0,90
NC88	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,00
		ZS5 - Sneh vľavo	1,50
		ZS15 - Pozdĺžny vietor -0,3	0,90
NC89	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,35
		ZS3 - Sneh celý	0,75
NC90	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,35
		ZS4 - Sneh vpravo	0,75
NC91	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,35
		ZS5 - Sneh vľavo	0,75
NC92	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,35
		ZS6 - Priechýny vietor +0,2 ++ ++	1,50
NC93	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,35
		ZS7 - Priechýny vietor +0,2 ++ --	1,50
NC94	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,35
Studentská verze *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *St			

Jméno	Typ	Zatěžovací stavy	Souč.
Studentská verze *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze*			[-]
NC94	Únosnost	ZS8 - Priečný vietor +0,2 -- --	1,50
NC95	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zaťaženie	1,35
		ZS9 - Priečný vietor +0,2 -- ++	1,50
NC96	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zaťaženie	1,35
		ZS10 - Priečný vietor -0,3 ++ ++	1,50
NC97	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zaťaženie	1,35
		ZS11 - Priečný vietor -0,3 ++ --	1,50
NC98	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zaťaženie	1,35
		ZS12 - Priečný vietor -0,3 -- --	1,50
NC99	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zaťaženie	1,35
		ZS13 - Priečný vietor -0,3 -- ++	1,50
NC100	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zaťaženie	1,35
		ZS14 - Pozdĺžny vietor +0,2	1,50
NC101	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zaťaženie	1,35
		ZS15 - Pozdĺžny vietor -0,3	1,50
NC102	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zaťaženie	1,35
		ZS3 - Sneh celý	0,75
		ZS6 - Priečný vietor +0,2 ++ ++	1,50
NC103	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zaťaženie	1,35
		ZS4 - Sneh vpravo	0,75
		ZS6 - Priečný vietor +0,2 ++ ++	1,50
NC104	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zaťaženie	1,35
		ZS3 - Sneh celý	0,75
		ZS7 - Priečný vietor +0,2 ++ --	1,50
NC105	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zaťaženie	1,35
		ZS5 - Sneh vľavo	0,75
		ZS6 - Priečný vietor +0,2 ++ ++	1,50
NC106	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zaťaženie	1,35
		ZS4 - Sneh vpravo	0,75
		ZS7 - Priečný vietor +0,2 ++ --	1,50
NC107	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zaťaženie	1,35
		ZS3 - Sneh celý	0,75
		ZS8 - Priečný vietor +0,2 -- --	1,50
NC108	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zaťaženie	1,35
		ZS5 - Sneh vľavo	0,75
		ZS7 - Priečný vietor +0,2 ++ --	1,50
NC109	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zaťaženie	1,35
		ZS4 - Sneh vpravo	0,75
		ZS8 - Priečný vietor +0,2 -- --	1,50
NC110	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zaťaženie	1,35
		ZS3 - Sneh celý	0,75
		ZS9 - Priečný vietor +0,2 -- ++	1,50
NC111	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zaťaženie	1,35
		ZS5 - Sneh vľavo	0,75
		ZS8 - Priečný vietor +0,2 -- --	1,50
NC112	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zaťaženie	1,35
		ZS4 - Sneh vpravo	0,75
		ZS9 - Priečný vietor +0,2 -- ++	1,50
NC113	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zaťaženie	1,35

Jméno	Typ	Zatěžovací stavy	Souč. [-]
<i>*Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *St</i>			
NC113	Únosnost	ZS3 - Sneh celý ZS10 - Priečný vietor -0,3 ++ ++	0,75 1,50
NC114	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž ZS2 - Ostatné stále zaťaženie ZS5 - Sneh vľavo ZS9 - Priečný vietor +0,2 -- ++	1,35 1,35 0,75 1,50
NC115	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž ZS2 - Ostatné stále zaťaženie ZS4 - Sneh vpravo ZS10 - Priečný vietor -0,3 ++ ++	1,35 1,35 0,75 1,50
NC116	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž ZS2 - Ostatné stále zaťaženie ZS3 - Sneh celý ZS11 - Priečný vietor -0,3 ++ --	1,35 1,35 0,75 1,50
NC117	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž ZS2 - Ostatné stále zaťaženie ZS5 - Sneh vľavo ZS10 - Priečný vietor -0,3 ++ ++	1,35 1,35 0,75 1,50
NC118	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž ZS2 - Ostatné stále zaťaženie ZS4 - Sneh vpravo ZS11 - Priečný vietor -0,3 ++ --	1,35 1,35 0,75 1,50
NC119	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž ZS2 - Ostatné stále zaťaženie ZS3 - Sneh celý ZS12 - Priečný vietor -0,3 -- --	1,35 1,35 0,75 1,50
NC120	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž ZS2 - Ostatné stále zaťaženie ZS5 - Sneh vľavo ZS11 - Priečný vietor -0,3 ++ --	1,35 1,35 0,75 1,50
NC121	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž ZS2 - Ostatné stále zaťaženie ZS4 - Sneh vpravo ZS12 - Priečný vietor -0,3 -- --	1,35 1,35 0,75 1,50
NC122	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž ZS2 - Ostatné stále zaťaženie ZS3 - Sneh celý ZS13 - Priečný vietor -0,3 -- ++	1,35 1,35 0,75 1,50
NC123	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž ZS2 - Ostatné stále zaťaženie ZS5 - Sneh vľavo ZS12 - Priečný vietor -0,3 -- --	1,35 1,35 0,75 1,50
NC124	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž ZS2 - Ostatné stále zaťaženie ZS4 - Sneh vpravo ZS13 - Priečný vietor -0,3 -- ++	1,35 1,35 0,75 1,50
NC125	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž ZS2 - Ostatné stále zaťaženie ZS3 - Sneh celý ZS14 - Pozdĺžny vietor +0,2	1,35 1,35 0,75 1,50
NC126	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž ZS2 - Ostatné stále zaťaženie ZS5 - Sneh vľavo ZS13 - Priečný vietor -0,3 -- ++	1,35 1,35 0,75 1,50
NC127	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž ZS2 - Ostatné stále zaťaženie ZS4 - Sneh vpravo ZS14 - Pozdĺžny vietor +0,2	1,35 1,35 0,75 1,50
NC128	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž ZS2 - Ostatné stále zaťaženie ZS3 - Sneh celý ZS15 - Pozdĺžny vietor -0,3	1,35 1,35 0,75 1,50
NC129	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž ZS2 - Ostatné stále zaťaženie ZS5 - Sneh vľavo ZS14 - Pozdĺžny vietor +0,2	1,35 1,35 0,75 1,50
NC130	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž ZS2 - Ostatné stále zaťaženie	1,35 1,35
<i>*Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze</i>			

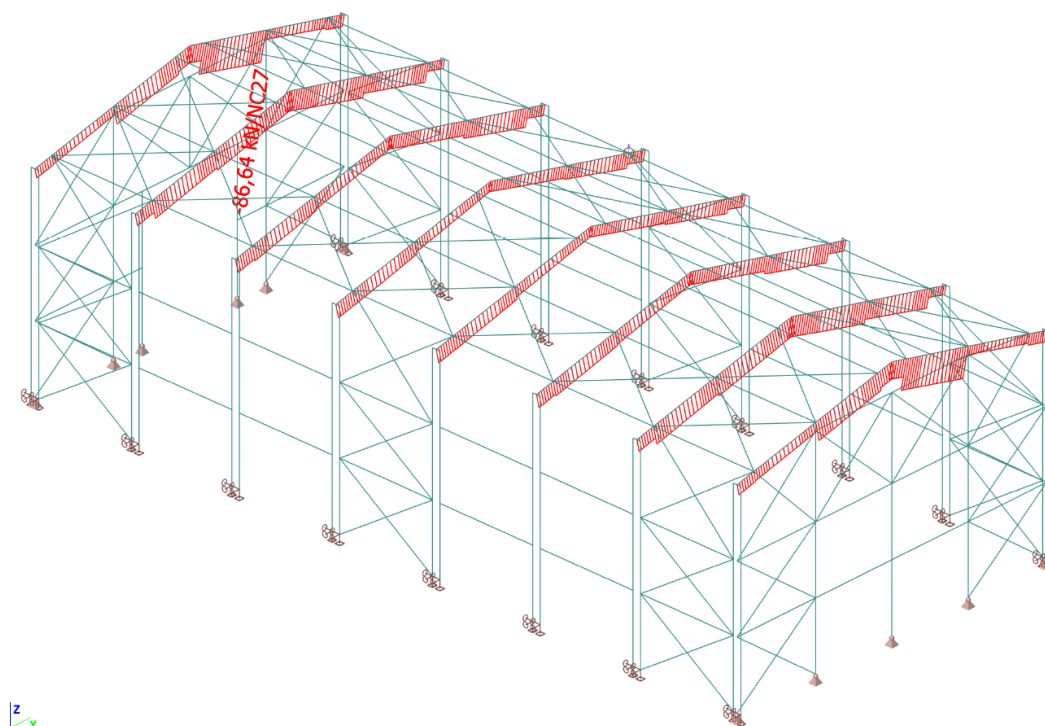
Jméno	Typ	Zatěžovací stavy	Souč. [-]
Studentská verze *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze*			
NC130	Únosnost	ZS4 - Sněh vpravo	0,75
		ZS15 - Pozdílný víter -0,3	1,50
NC131	Únosnost	ZS1 - Vlastná tíž	1,35
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,35
		ZS5 - Sněh vľavo	0,75
		ZS15 - Pozdílný víter -0,3	1,50
NC132	Únosnost	ZS1 - Vlastná tíž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,00
		ZS3 - Sněh celý	0,75
NC133	Únosnost	ZS1 - Vlastná tíž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,00
		ZS4 - Sněh vpravo	0,75
NC134	Únosnost	ZS1 - Vlastná tíž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,00
		ZS5 - Sněh vľavo	0,75
NC135	Únosnost	ZS1 - Vlastná tíž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,00
		ZS6 - Pričný víter +0,2 ++ ++	1,50
NC136	Únosnost	ZS1 - Vlastná tíž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,00
		ZS7 - Pričný víter +0,2 ++ --	1,50
NC137	Únosnost	ZS1 - Vlastná tíž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,00
		ZS8 - Pričný víter +0,2 -- --	1,50
NC138	Únosnost	ZS1 - Vlastná tíž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,00
		ZS9 - Pričný víter +0,2 -- ++	1,50
NC139	Únosnost	ZS1 - Vlastná tíž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,00
		ZS10 - Pričný víter -0,3 ++ ++	1,50
NC140	Únosnost	ZS1 - Vlastná tíž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,00
		ZS11 - Pričný víter -0,3 ++ --	1,50
NC141	Únosnost	ZS1 - Vlastná tíž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,00
		ZS12 - Pričný víter -0,3 -- --	1,50
NC142	Únosnost	ZS1 - Vlastná tíž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,00
		ZS13 - Pričný víter -0,3 -- ++	1,50
NC143	Únosnost	ZS1 - Vlastná tíž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,00
		ZS14 - Pozdílný víter +0,2	1,50
NC144	Únosnost	ZS1 - Vlastná tíž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,00
		ZS15 - Pozdílný víter -0,3	1,50
NC145	Únosnost	ZS1 - Vlastná tíž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,00
		ZS3 - Sněh celý	0,75
		ZS6 - Pričný víter +0,2 ++ ++	1,50
NC146	Únosnost	ZS1 - Vlastná tíž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,00
		ZS4 - Sněh vpravo	0,75
		ZS6 - Pričný víter +0,2 ++ ++	1,50
NC147	Únosnost	ZS1 - Vlastná tíž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,00
		ZS3 - Sněh celý	0,75
		ZS7 - Pričný víter +0,2 ++ --	1,50
NC148	Únosnost	ZS1 - Vlastná tíž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,00
		ZS5 - Sněh vľavo	0,75
		ZS6 - Pričný víter +0,2 ++ ++	1,50
NC149	Únosnost	ZS1 - Vlastná tíž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,00
		ZS4 - Sněh vpravo	0,75
		ZS7 - Pričný víter +0,2 ++ --	1,50
NC150	Únosnost	ZS1 - Vlastná tíž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,00
		ZS3 - Sněh celý	0,75

Studentská verze *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze*

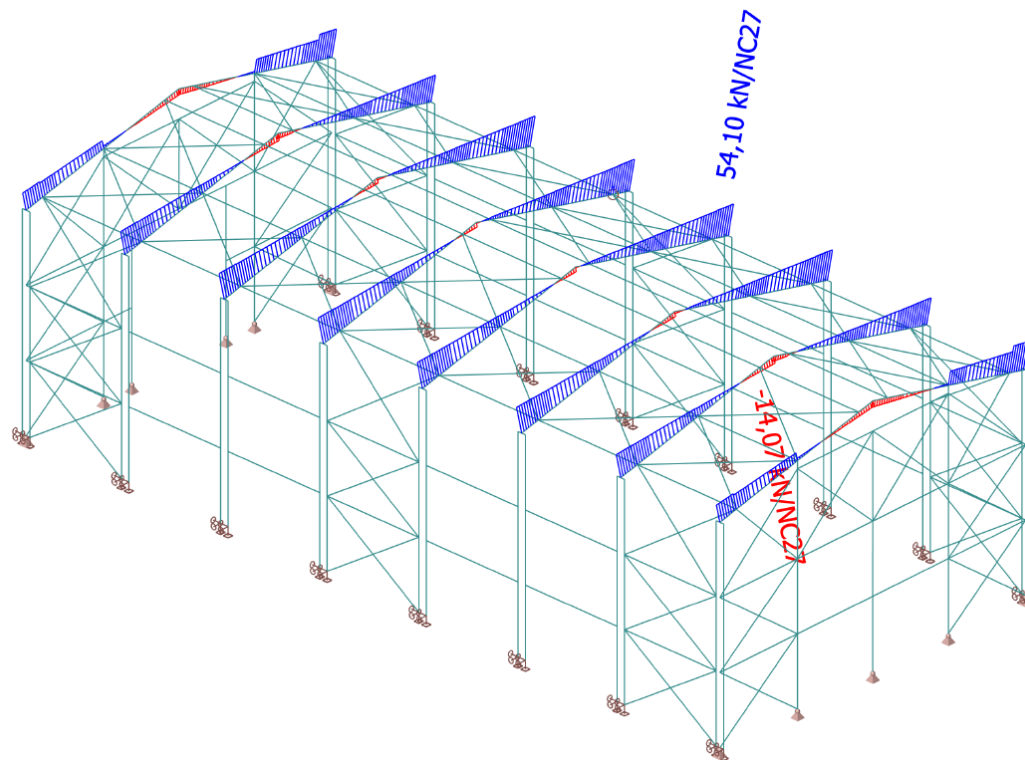
Jméno	Typ	Zatěžovací stavy	Souč.
		Studentká verze *Studentká verze* *Studentká verze* *Studentká verze* *Studentká verze* *Studentká verze* *Studentká verze* *Studentká verze* *Studentká verze*	[.]
NC150	Únosnost	ZS8 - Priečný vietor +0,2 -- --	1,50
NC151	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,00
		ZS5 - Sneh vľavo	0,75
		ZS7 - Priečný vietor +0,2 ++ --	1,50
NC152	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,00
		ZS4 - Sneh vpravo	0,75
		ZS8 - Priečný vietor +0,2 -- --	1,50
NC153	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,00
		ZS3 - Sneh celý	0,75
		ZS9 - Priečný vietor +0,2 -- ++	1,50
NC154	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,00
		ZS5 - Sneh vľavo	0,75
		ZS8 - Priečný vietor +0,2 -- --	1,50
NC155	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,00
		ZS4 - Sneh vpravo	0,75
		ZS9 - Priečný vietor +0,2 -- ++	1,50
NC156	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,00
		ZS3 - Sneh celý	0,75
		ZS10 - Priečný vietor -0,3 ++ ++	1,50
NC157	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,00
		ZS5 - Sneh vľavo	0,75
		ZS9 - Priečný vietor +0,2 -- ++	1,50
NC158	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,00
		ZS4 - Sneh vpravo	0,75
		ZS10 - Priečný vietor -0,3 ++ ++	1,50
NC159	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,00
		ZS3 - Sneh celý	0,75
		ZS11 - Priečný vietor -0,3 ++ --	1,50
NC160	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,00
		ZS5 - Sneh vľavo	0,75
		ZS10 - Priečný vietor -0,3 ++ ++	1,50
NC161	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,00
		ZS4 - Sneh vpravo	0,75
		ZS11 - Priečný vietor -0,3 ++ --	1,50
NC162	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,00
		ZS3 - Sneh celý	0,75
		ZS12 - Priečný vietor -0,3 -- --	1,50
NC163	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,00
		ZS5 - Sneh vľavo	0,75
		ZS11 - Priečný vietor -0,3 ++ --	1,50
NC164	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,00
		ZS4 - Sneh vpravo	0,75
		ZS12 - Priečný vietor -0,3 -- --	1,50
NC165	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,00
		ZS3 - Sneh celý	0,75
		ZS13 - Priečný vietor -0,3 -- ++	1,50
NC166	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,00
		ZS5 - Sneh vľavo	0,75
		ZS12 - Priečný vietor -0,3 -- --	1,50
NC167	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zataženie	1,00
		ZS4 - Sneh vpravo	0,75

Jméno	Typ	Zatěžovací stavy	Souč. [-]
Studentská verze *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *St.			
NC167	Únosnost	ZS13 - Priečný vietor -0,3 -- ++	1,50
NC168	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zaťaženie	1,00
		ZS3 - Sneh celý	0,75
		ZS14 - Pozdĺžny vietor +0,2	1,50
NC169	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zaťaženie	1,00
		ZS5 - Sneh vľavo	0,75
		ZS13 - Priečný vietor -0,3 -- ++	1,50
NC170	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zaťaženie	1,00
		ZS4 - Sneh vpravo	0,75
		ZS14 - Pozdĺžny vietor +0,2	1,50
NC171	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zaťaženie	1,00
		ZS3 - Sneh celý	0,75
		ZS15 - Pozdĺžny vietor -0,3	1,50
NC172	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zaťaženie	1,00
		ZS5 - Sneh vľavo	0,75
		ZS14 - Pozdĺžny vietor +0,2	1,50
NC173	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zaťaženie	1,00
		ZS4 - Sneh vpravo	0,75
		ZS15 - Pozdĺžny vietor -0,3	1,50
NC174	Únosnost	ZS1 - Vlastná tiaž	1,00
		ZS2 - Ostatné stále zaťaženie	1,00
		ZS5 - Sneh vľavo	0,75
		ZS15 - Pozdĺžny vietor -0,3	1,50

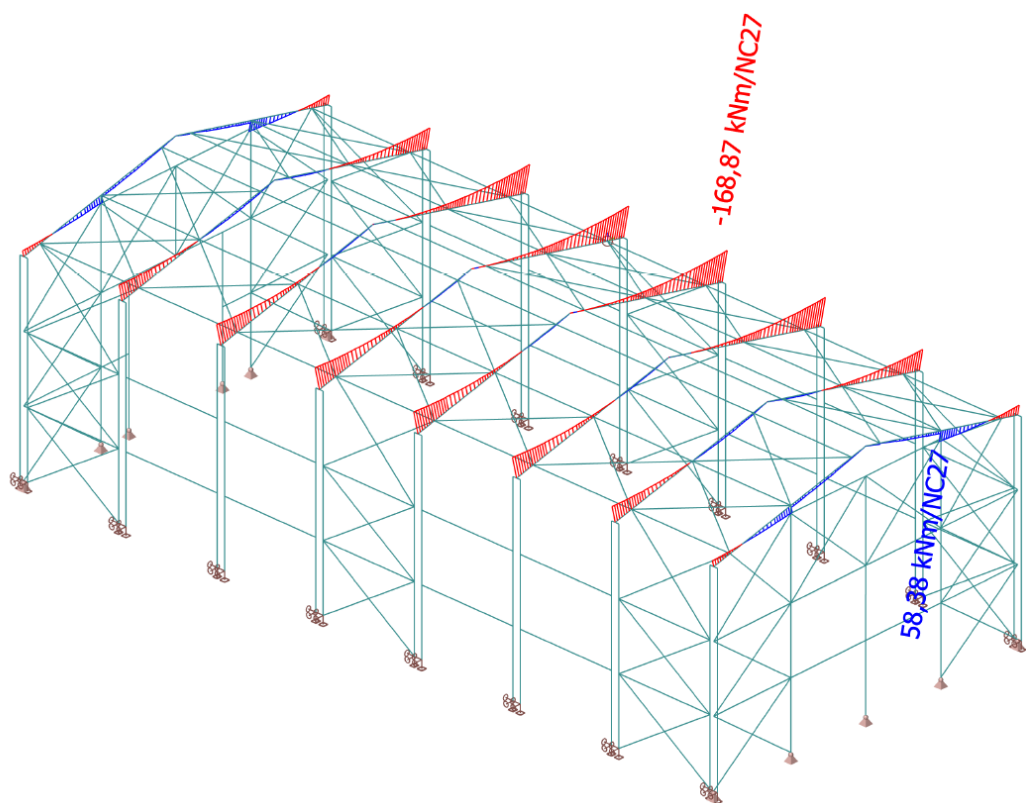
PIII Priebehy vnútorných síl vybraných prvkov



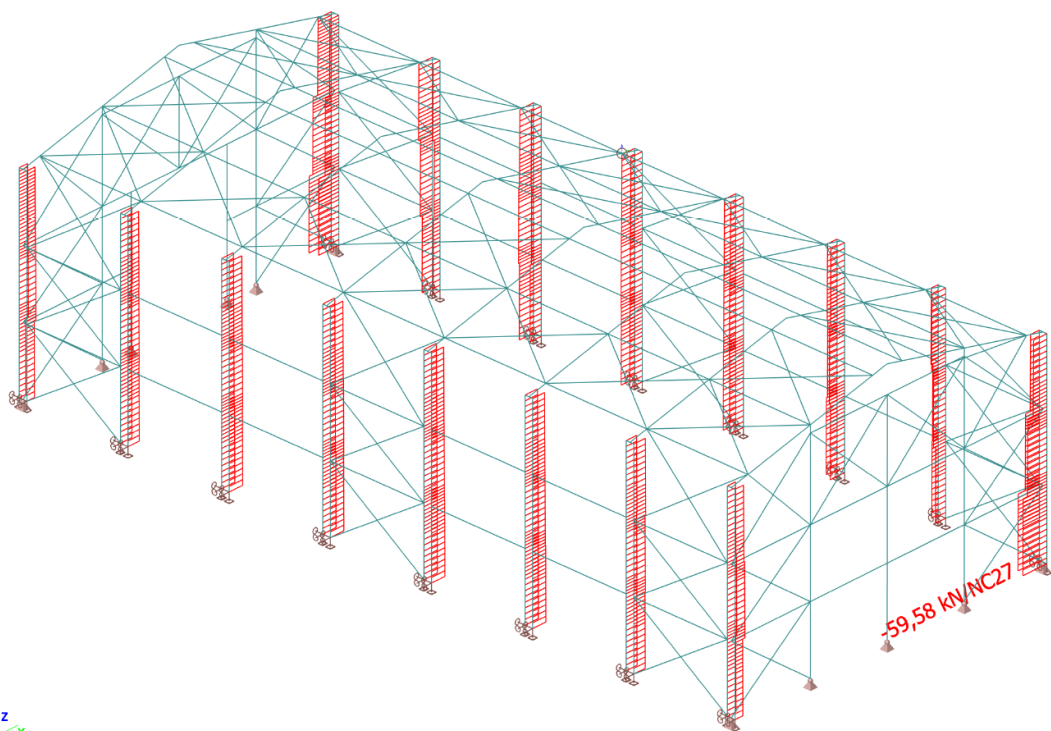
Obrázok PIII 1 Priebeh normálových síl NC27 - Priečla



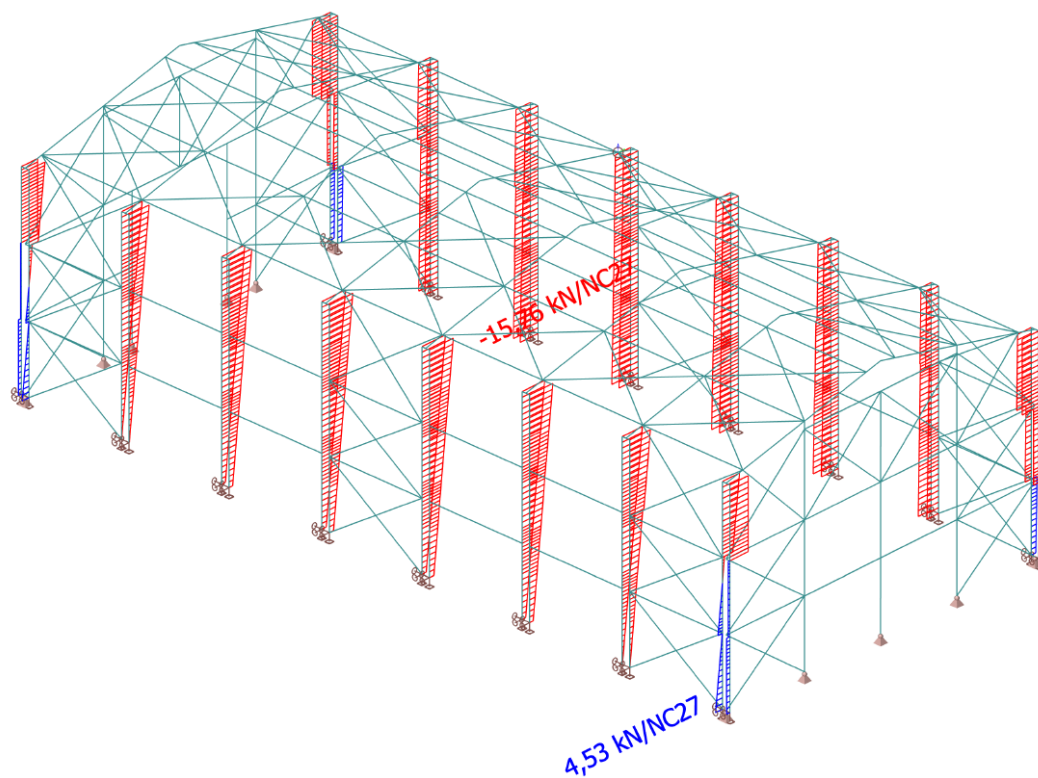
Obrázok PIII 2 Priebeh posúvajúcich síl NC27 - Priečla



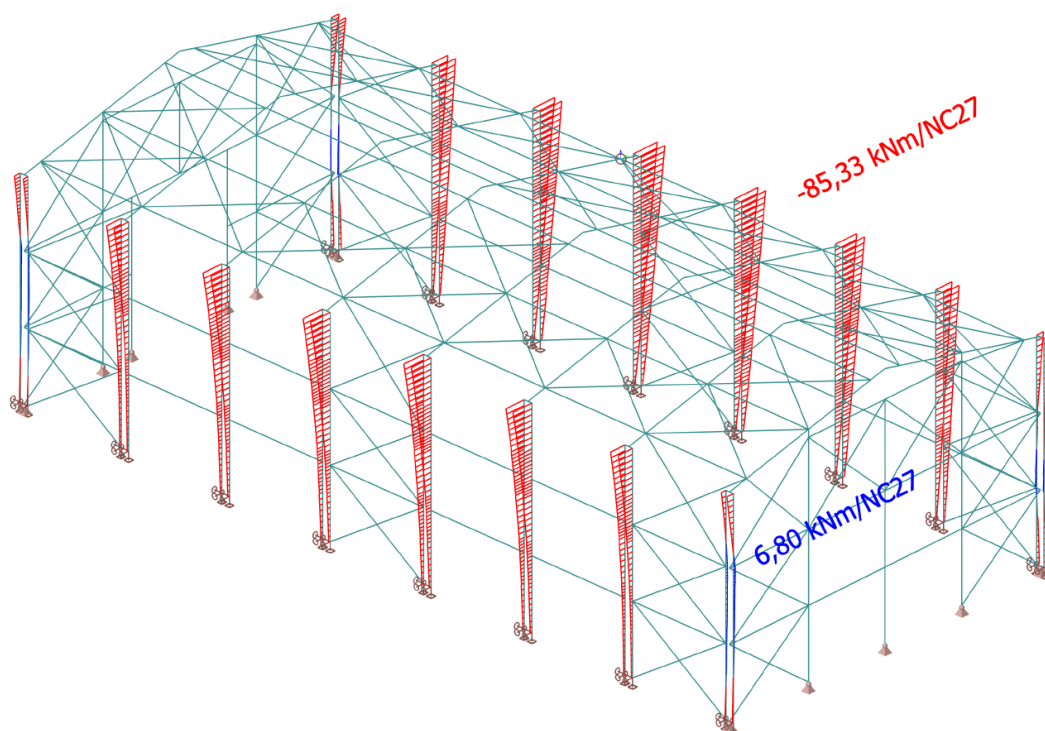
Obrázok PIII 3 Pribeh ohybových momentov NC27 - Priečla



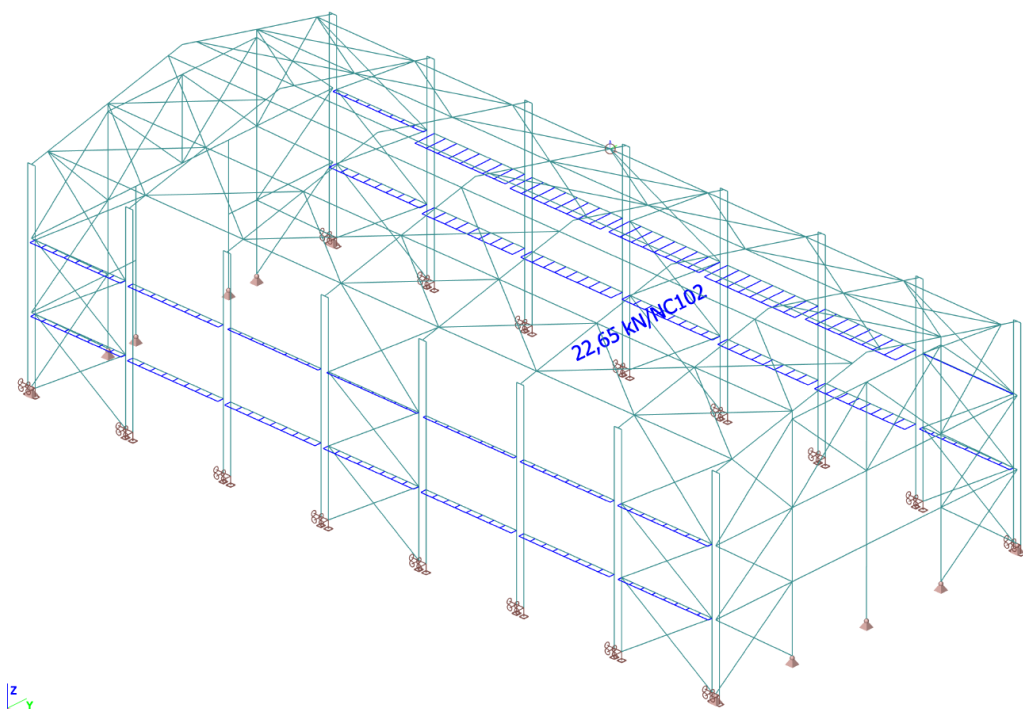
Obrázok PIII 4 Pribeh normálových síl NC27 - Stojka



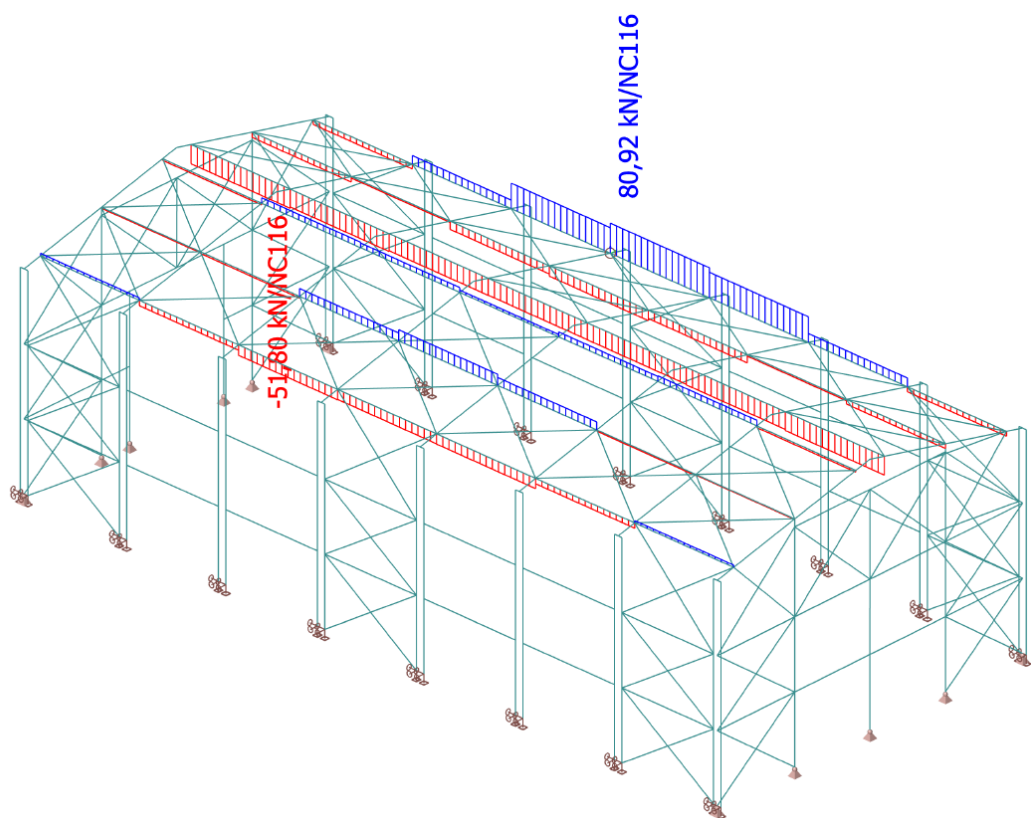
Obrázok PIII 5 Priebeh posúvajúcich síl NC27 - Stojka



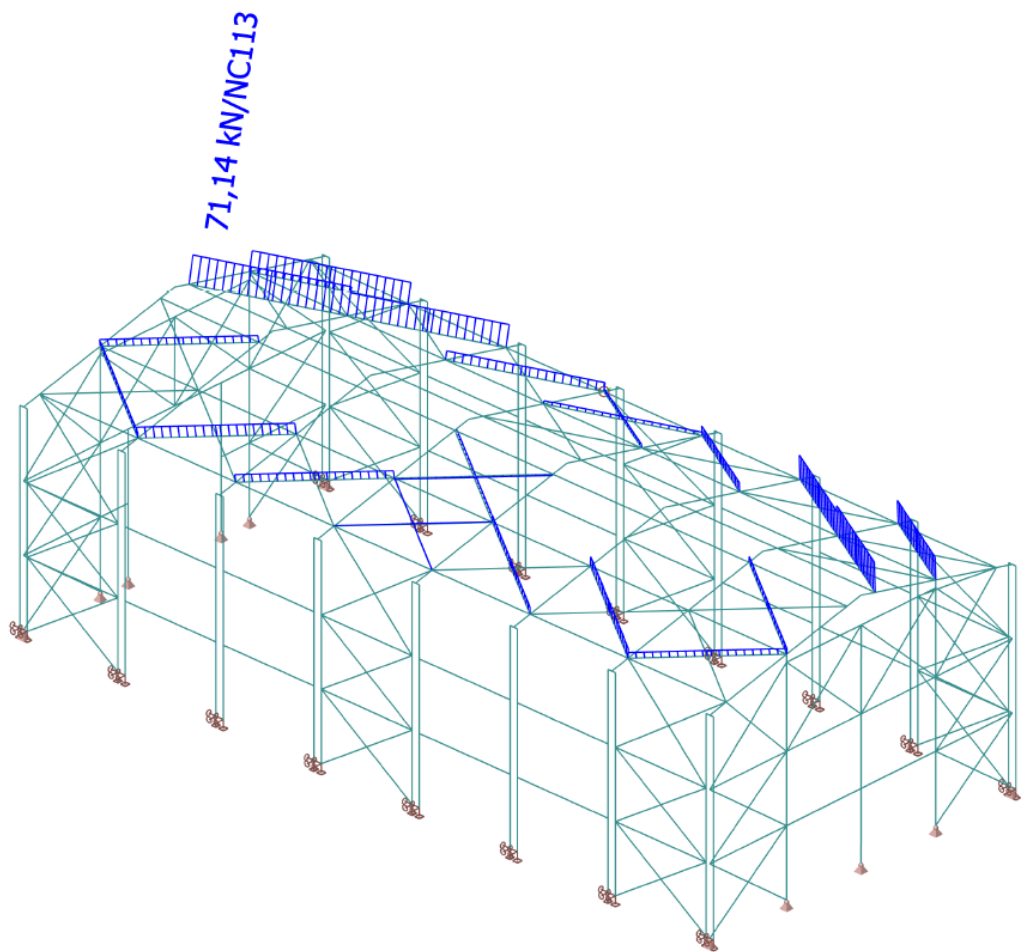
Obrázok PIII 6 Priebeh ohybových momentov NC27 - Stojka



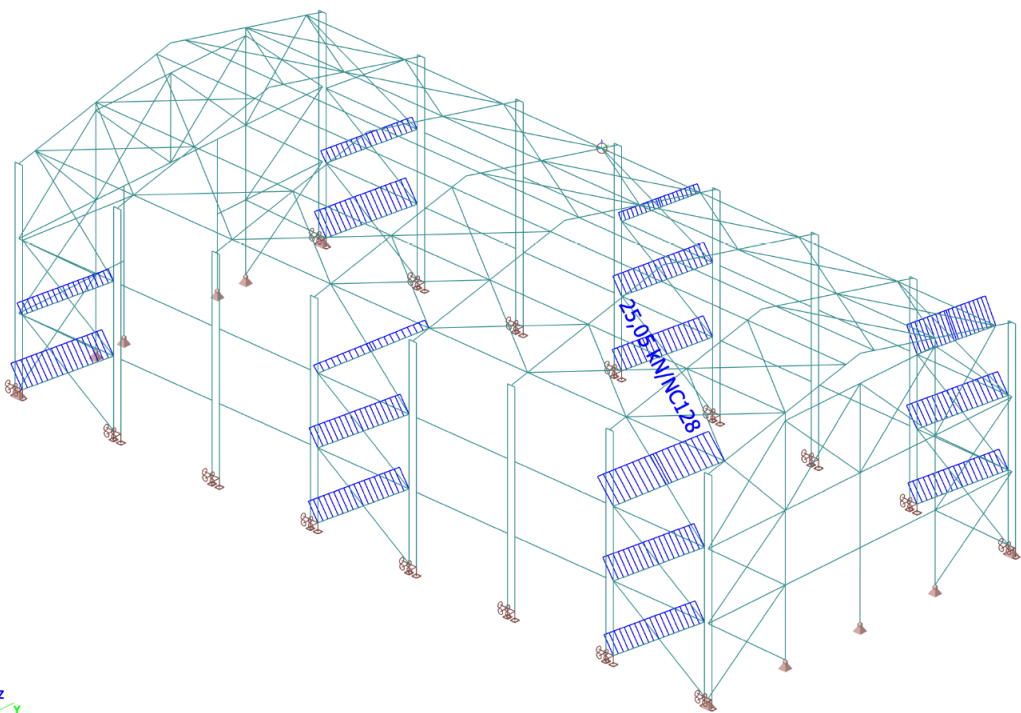
Obrázok PIII 7 Priebeh normálových síl NC102 – Rozpera stena



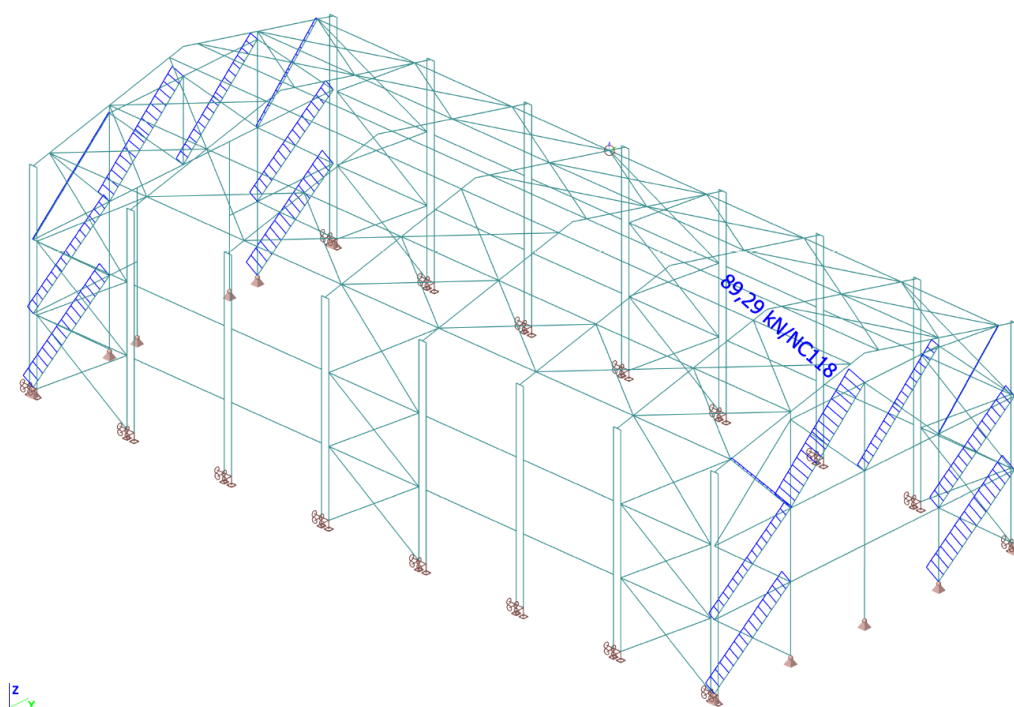
Obrázok PIII 8 Priebeh normálových síl NC116 – Rozpera strecha



Obrázok PIII 9 Priebeh normálových síl NC113 – Stúžidlo strecha



Obrázok PIII 10 Priebeh normálových síl NC128 – Stúžidlo stena



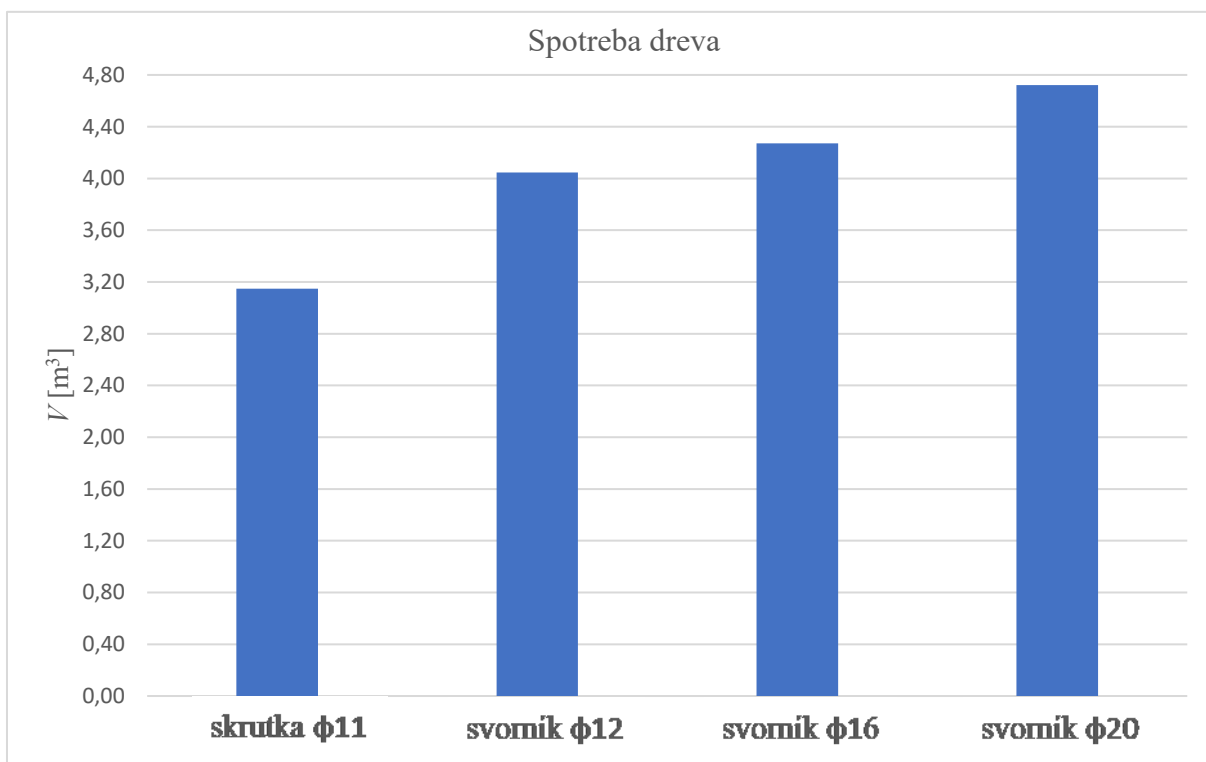
Obrázok PIII 11 Pribeh normálových síl NC118 – Stúžidlo stena čelná

PIV Porovnanie spotreby dreva a spojovacích prostriedkov

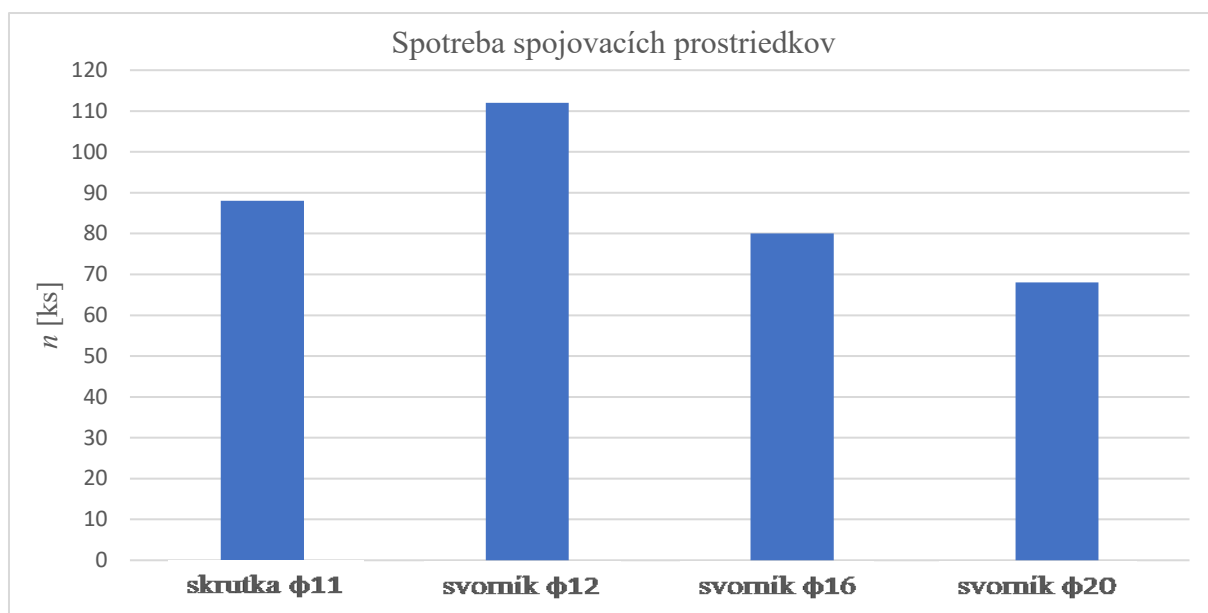
Cieľom bolo zistiť, pri rovnakej únosnosti spoja rámového rohu, množstvo spotrebovaného dreva a spojovacích prostriedkov (2ks priečla, 4ks stojka, 2ks rámový roh). Spoj riešený v diplomovej práci pozostával z priečle prierezu 180 x 700 mm, 2ks stojek 120 x 700 mm a 44ks skrutiek Rothoblaas VGS11400. Nasledujúca tabuľka a grafy zobrazujú tieto závislosti.

Tabuľka PIV Porovnanie spotreby dreva a spojovacích prostriedkov

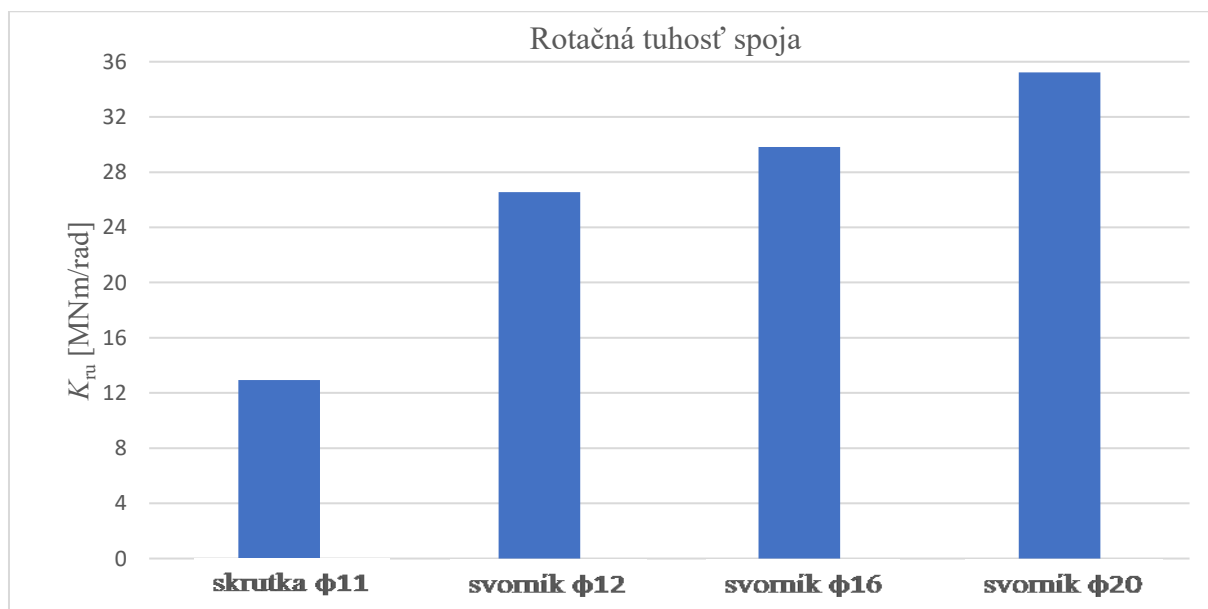
Druh spojovacieho prostriedku	Drevo [m ³]	Rozdiel [%]	Počet [ks]	Rozdiel [%]	K_u [MNm]	K_{ru} [MNm/rad]
skrutka VGS11400	3,15	-	88	-	207,84	12,93
svorník KOS ϕ 12	4,05	22,22	112	21,43	267,96	26,54
svorník KOS ϕ 16	4,27	26,32	80	10,00	274,83	29,82
svorník KOS ϕ 20	4,72	33,33	68	29,41	292,01	35,23



Graf PIV Porovnanie spotreby dreva



Graf PIV Porovnanie spotreby spojovacích prostriedkov



Graf PIV Porovnanie rotačnej tuhosti spoja

Na základe predchádzajúcej tabuľky a grafov je možné vyvodiť nasledovný záver. Pre danú únosnosť a výšku priečle (700 mm) nie je možné navrhnuť spoj svorníkového typu odpovedajúcej únosnosti. Spoj svorníkového typu musel obsahovať väčšiu výšku priečle a stojky aby preniesol návrhovú hodnotu ohybového momentu ako skrutkový spoj. Na zhotovenie, okrem spoja svorníkového typu $\phi 12$ mm, stačilo menej spojovacích prostriedkov oproti skrutkovému spoju. Skrutkovaný spoj má výrazne nižšiu, 2x, rotačnú tuhosť oproti svorníkovému.

PV Silová metóda

Vetva v grafe grafe 19.1, v kapitole 19.4 bola vytvorená pomocou silovej metódy z nasledujúceho analytického výrazu.

$$u_z = \int_0^{l_1} \frac{M_0 \cdot \bar{M}_1}{E_1 \cdot I_1} \cdot d_x + \int_0^{l_2} \frac{M_0 \cdot \bar{M}_1}{E_2 \cdot I_2} \cdot d_x + \int_0^{l_2} \frac{M_0}{K_r} \cdot d_x$$
$$u_z = \frac{M_0 \cdot \bar{M}_1}{E_1 \cdot I_1} \cdot l_1 + \frac{M_0 \cdot \bar{M}_1}{2 \cdot E_2 \cdot I_2} \cdot l_2 + \frac{M_0}{K_r} \cdot l_2$$
$$u_z = \frac{168,85 \cdot 1,95 \cdot 10^3}{11,5 \cdot 10^9 \cdot 0,0069} \cdot 3 + \frac{168,85 \cdot 1,95 \cdot 10^3}{2 \cdot 11,5 \cdot 10^9 \cdot 0,0051} \cdot 1,95 + \frac{168,85 \cdot 10^3}{12,90 \cdot 10^6} \cdot 1,95$$
$$u_z = 0,04347 \text{ m}$$

kde M_0 je moment vyvolaný zaťažením;

\bar{M}_1 moment vyvolaný virtuálnym zaťažením;

L_1 dĺžka stojky;

L_2 dĺžka priečle;

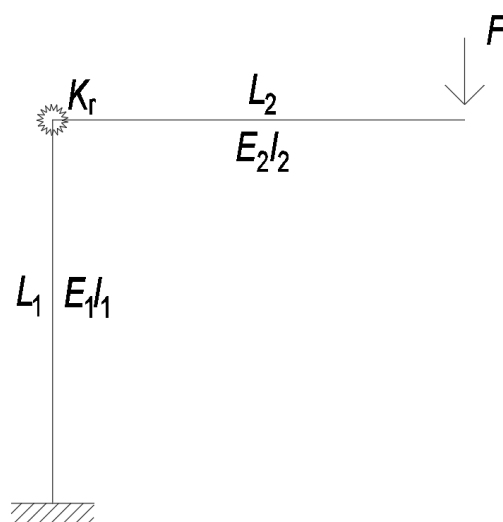
E_1 modul pružnosti stojky;

E_2 modul pružnosti priečle;

I_1 moment zotrvačnosti stojky;

I_2 moment zotrvačnosti priečle;

K_r rotačná tuhosť spoja priečle a stojky, určená pomocou [2] a [5].



Obrázok PV 1 Statická schéma fyzikálneho testu pre silovú metódu